

Návrh zabezpečení slaboproudých zařízení proti účinkům přepětí

Design of Protection of Low-Voltage Devices Against the Effects of Surges

Bc. Rudolf Slezák

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Rudolf SLEZÁK**
Osobní číslo: **A11356**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Návrh zabezpečení slaboproudých zařízení proti účinkům přepětí**

Zásady pro vypracování:

- 1. Analyzujte legislativní a technické požadavky na ochranu slaboproudých zařízení proti přepětí.**
- 2. Pojednejte o zdrojích přepětí a nadproudu.**
- 3. Analyzujte možnosti technických prostředků k omezení účinků přepětí.**
- 4. Na modelovém objektu navrhnete technické řešení ochrany proti přepětí.**
- 5. Pojednejte o vývojových trendech v oblasti ochrany proti přepětí.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. VACULÍKOVÁ, Polina, VACULÍK, Emil. Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů: Praktický průvodce techniky omezení elektromagnetického vř rušení. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 1998. 487 s. ISBN 80-7169-568-8.
2. KAŇUCH, Jan, KOVÁČ, Dobroslav, KOVÁČOVÁ Irena. EMC z hlediska teorie a praxe. 1. vydání. Praha: BEN- technická literatura, 2006. 216 s. ISBN 80-7300-202-7.
3. KŘEČEK Stanislav. Příručka zabezpečovací techniky. Vydání 3. Blatná: Cricetus, 2006. 315 s. ISBN 80-902938-2-4.
4. ČSN EN 62305-4 ed. 2. Ochrana před bleskem - Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách. Praha. ÚNMZ, 2011. Třídící znak 341390.
5. BURANT, Jiří. Blesk a přepětí systémová řešení ochran. Praha: FCC Public, 2006. 252 s. ISBN 80-86534-10-3.
6. KUTÁČ, J., MERA VÝ, J. Ochrana před bleskem a přepětím z pohledu soudních znalců. 1.vyd. Ostrava: SPBI Ostrava 2010, s.186. ISBN 978-80-7385-081-4.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Valouch, Ph.D.

Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

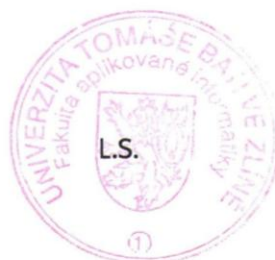
8. února 2013

Termín odevzdání diplomové práce:

3. června 2013

Ve Zlíně dne 8. února 2013


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Diplomová práce řeší problematiku ochrany slaboproudých zařízení před přepětím. Úvodní část obsahuje analýzu právních a technických předpisů. Tato analýza je doplněna rozborem zdrojů přepětí. Další část předložené diplomové práce řeší systémy ochrany před přepětím. Stěžejní výstup představuje návrh ochranného systému k omezení přepětí. V závěru jsou uvedeny informace o vývojových trendech v oblasti ochrany před přepětím.

Klíčová slova: přepětí, ochrana proti přepětí, analýza rizik, přepěťové ochranné zařízení, elektromagnetický impuls vyvolaný bleskem.

ABSTRACT

This thesis addresses the issue protection of low voltage devices from surges. The introductory part contains an analysis the legal and technical regulations. This analysis is complemented by an analysis of sources of surge. Another part of the dissertation addresses the protection systems against power surges. The key output is a draft protection system to limit surges. Information about trends in surge protection are provided in conclusion.

Keywords: over voltage, over voltage protection, risk analysis, surge protective device, lightning electromagnetic impulse.

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce panu
Ing. Janu Valouchovi, Ph.D. za odborné vedení, rady a připomínky, které mi poskytl při
vypracování diplomové práce.

Prohlašuji, že

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
1 LEGISLATIVNÍ A TECHNICKÉ POŽADAVKY	9
1.1 POŽADAVKY PRÁVNÍCH PŘEDPISŮ	9
1.2 TECHNICKÉ POŽADAVKY NOREM.....	10
2 ZDROJE PŘEPĚTÍ A NADPROUDU	33
2.1 SPÍNACÍ PŘEPĚTÍ (SEMP – SWITCHING ELEKTROMAGNETIC PULSE).....	35
2.2 ATMOSFÉRICKÉ PŘEPĚTÍ (LEMP LIGHTNING ELEKTROMAGNETIC PULSE).....	35
2.3 ELEKTROSTATICKÁ PŘEPĚTÍ (ESD ELECTROSTATIC DISCHARGES).....	37
2.4 NUKLEÁRNÍ ELEKTROMAGNETICKÝ IMPULS (NEMP – NUCLEAR ELECTROMAGNETIC PULSE)	37
3 TECHNICKÉ PROSTŘEDKY K OMEZENÍ ÚČINKŮ PŘEPĚTÍ	39
3.1 TECHNICKÉ ÚDAJE SPD.....	39
3.2 JISKŘIŠTĚ A VÝKONOVÉ BLESKOJISTKY	40
3.3 VARISTORY	41
3.4 SOUČÁSTKY S POLOVODIČOVÝMI PŘECHODY.....	43
3.5 KOMBINACE OCHRAN PŘED PŘEPĚTÍM	44
4 NÁVRH OCHRANY PROTI PŘEPĚTÍ	47
4.1 CHARAKTERISTIKA CHRÁNĚNÉ STAVBY	48
4.2 OCENĚNÍ RIZIKA A STANOVENÍ TŘÍDY LPS.....	49
4.3 VOLBA VNĚJŠÍHO SYSTÉMU OCHRANY PŘED BLESKEM.....	52
4.3.1 Jímací soustava.....	52
4.3.2 Soustava svodů	52
4.3.3 Uzemňovací soustava	54
4.4 NÁVRH VNITŘNÍHO LPS	57
4.4.1 Pospojování.....	57
4.4.2 SPD	58
4.5 PŮDORYS	70
5 VÝVOJOVÉ TRENDY	73
5.1 PLYNEM PLNĚNÉ JISKŘIŠTĚ VG	73
5.2 SVODIČE XTU.....	74
5.3 SYSTÉM MONITOROVÁNÍ PŘEPĚŤOVÝCH OCHRANNÝCH ZAŘÍZENÍ	74
5.4 VODIČ HVI.....	75
ZÁVĚR	78
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ	80
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	82
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	84
SEZNAM OBRÁZKŮ	85
SEZNAM TABULEK	87

ÚVOD

V dnešní době kdy je lidská civilizace životně závislá na elektrické energii je zapotřebí jak zdroje elektrické energie, rozvody tak i elektrické zařízení chránit. Tato ochrana může mít několik podob a to podle druhu nebezpečí jaké danému zařízení hrozí. Tyto hrozby mohou mít různou formu, jako jsou fyzické útoky (nedbalost, teroristické útoky) anebo forma elektromagnetické povahy. Tato diplomová práce je zaměřena na ochranu před negativními elektromagnetickými účinky.

Čím více se využívá ve všech odvětvích lidské činnosti elektronických systémů, které jsou tvořeny polovodičovými součástkami, tím jsou tyto systémy náchylnější k poruchovosti a zničení. Tyto systémy jsou citlivější na rušivé jevy způsobené jevy elektromagnetické povahy. Tyto jevy mohou mít za následek krátkodobé výpadky či zničení slaboproudých systémů. Výpadek či zničení systému může mít za následek škody ve výrobní sféře jako je přerušování výrobního procesu. Naopak v bezpečnosti a zdravotnictví na správné funkci systémů závisí zdraví a životy lidí.

Takovými rušivými jevy, které mohou ovlivnit funkci elektronických systémů, jsou různé přepětí v síti. Tyto přepětí mohou vznikat spínáním elektrických spotřebičů v elektrické síti, různými zkraty v rozvodné soustavě. Dále nesmíme zapomenout na přepětí způsobené bleskem. Toto přepětí může vzniknout úderem blesku do elektrizační soustavy popřípadě elektromagnetickou indukcí v případě úderu blesku v blízkosti elektrického zařízení. Přepětí mohou dále vnikat pomocí elektrostatického náboje a nukleárním elektromagnetickým impulsem. Diplomová práce je zaměřena na ochranu zařízení před spínacím a atmosférickým přepětím.

Základem ochrany před přepětím docílíme pomocí komplexního ochranného systému, který se skládá s vnější ochrany a vnitřní ochrany. Vnější ochrana je tvořena soustavou zahrnující jímače, svody, uzemnění. Vnitřní ochrana se skládá s vyrovnání potenciálu, oddělení bezpečnou vzdáleností, stíněním a přepět'ovým ochranným zařízením.

V současnosti komplexní ochrana před bleskem a přepětím je pro laickou a i pro část elektrotechniků naprosto neznámým pojmem. Stále se objevují soustavy, které nemají proveden výpočet rizika dle ČSN EN 62305 – 2 ed.2 a to již nemluvě o provedení projektové dokumentace. Nová řada norem ČSN EN 62305 a normy zabývající se ochranou před přepětím reaguje na nové poznatky z oblasti přepětí.

Aby provedení systému ochrany před přepětím bylo prováděno v praxi co nejoborněji, je zapotřebí zajistit co nejširší povědomí od přípravy přes montáž až po revizi. Na tuto nepříznivou situaci se snaží reagovat výrobci ochranných zařízení před přepětím školeními,

nejen o svých výrobcích, ale i o implementaci těchto výrobků dle právních předpisů a technických norem. Dokonce se již objevují „hromosvodářská“ centra, kde si zájemci z řad odborné veřejnosti mohou vyzkoušet montáž ochranného systému před přepětím. Diplomová práce může svým rozsahem a obsahem seznámit odbornou veřejnost od projektantů, přes pracovníky montážních firem, výrobce rozvaděčů s problematikou implementace komplexního systému ochrany před přepětím.

1 LEGISLATIVNÍ A TECHNICKÉ POŽADAVKY

Požadavky na ochranu slaboproudých zařízení před účinky přepětí jsou stanoveny v řadě právních předpisů a technických norem. Právní předpisy řeší problematiku nutnosti implementace ochranného systému. Technické normy stanovují konkrétní požadavky na samotné provedení systému.

Nejprve se seznámíme s právními požadavky, ze kterých vyplývají požadavky na zavedení ochrany proti působení elektromagnetických účinků.

1.1 Požadavky právních předpisů

Z hlediska procesu uvádění výrobků na trh se musíme řídit zákonem 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky. Tento zákon upravuje způsob stanovování technických požadavků na výrobky, které mohou ve zvýšené míře ohrozit zdraví nebo bezpečnost osob, majetek nebo životní prostředí. Takovým způsobem mohou být technické předpisy a technické dokumenty, České technické normy, harmonizované technické normy a určené normy. Dále zákon upravuje posuzování shody u těchto výrobků pomocí Nařízení vlády.

Takovým nařízením vlády je Nařízení vlády č.616/2006, kterým se stanoví technické požadavky na výrobky z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility. Každý výrobce, dovozce, musí ze zákona zajistit dostatečnou odolnost dodávaného výrobku a jeho funkčnost i za přítomnosti rušivých signálů na straně jedné a zajistil, že dodávaný výrobek nebude rušit okolí nad úroveň, kterou povoluje norma, na straně druhé. Cílem těchto zákonných požadavků je:

1. realizovat opatření, která tato rizika eliminují, nebo alespoň omezí na minimální nebezpečí, které lze považovat za přijatelné při užívání výrobku vzhledem k odpovídající vysoké úrovni ochrany oprávněného zájmu
2. zajistit vysokou provozuschopnost zařízení v podmínkách, pro které je určeno. [1]

Dále použití ochrany proti elektromagnetickým účinkům můžeme hledat v zákonu č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) a to v § 169 Obecné požadavky na výstavbu, odstavec 1: právnické osoby, fyzické osoby a příslušné orgány veřejné správy jsou povinny při územně plánovací a projektové činnosti, při povolování, provádění, užívání a odstraňování staveb respektovat záměry územního plánování a obecné požadavky na výstavbu [§2 odst. 2 písm. e)] stanovené prováděcími právními předpisy.

Takovým prováděcím právním předpisem je Vyhláška 268/2009Sb. o technických požadavcích na stavby. V §34 Připojení staveb k distribučním sítím, vnitřní silnoproudé rozvody a vnitřní rozvody sítí elektronických komunikací je stanoveno, že elektrický rozvod musí splňovat požadavky na bezpečnost osob, zvířat a majetku, provozní spolehlivost a zamezení vzájemných nepříznivých vlivů a rušivých napětí při křížování a souběhu silnoproudých vedení a vedení elektronických komunikací, v elektrických rozvodech staveb instalovat vždy zařízení s takovou elektromagnetickou kompatibilitou a odolností, aby tato zařízení v elektromagnetickém prostředí uspokojivě fungovala, aniž by sama způsobovala nepříznivé elektromagnetické rušení jiného zařízení v tomto prostředí.

V §36 Ochrana před bleskem se uvádí, že ochrana před bleskem se musí zřizovat na stavbách a zařízení tam, kde by blesk mohl způsobit ohrožení života, zdraví osob, zejména na stavbě pro bydlení, stavbě s vnitřním shromažďovacím prostorem, stavbě pro obchod, zdravotnictví a školství, stavbě ubytovacích zařízení nebo stavbě pro větší počet zvířat. Pro tyto stavby musí být proveden výpočet řízení rizika podle normových hodnot k výběru nejvhodnějších ochranných opatření stavby. [2]

1.2 Technické požadavky norem

ČSN 33 2000-1 ed.2 *Základní hlediska, stanovení základních charakteristik, definice*

Tato norma doporučuje, že osoby, hospodářská zvířata a majetek mají být chráněny před přepětím, která vznikají z atmosférických výbojů, nebo ze spínacích procesů. [1]

ČSN 334010 *Ochrana sdělovacích vedení a zařízení proti přepětí a nadproudu*

Norma stanoví zásady ochrany sdělovacích vedení a připojených zařízení před účinky přepětí a nadproudu vzniklých na vnějších sdělovacích vedeních před účinkem atmosférických výbojů. [1]

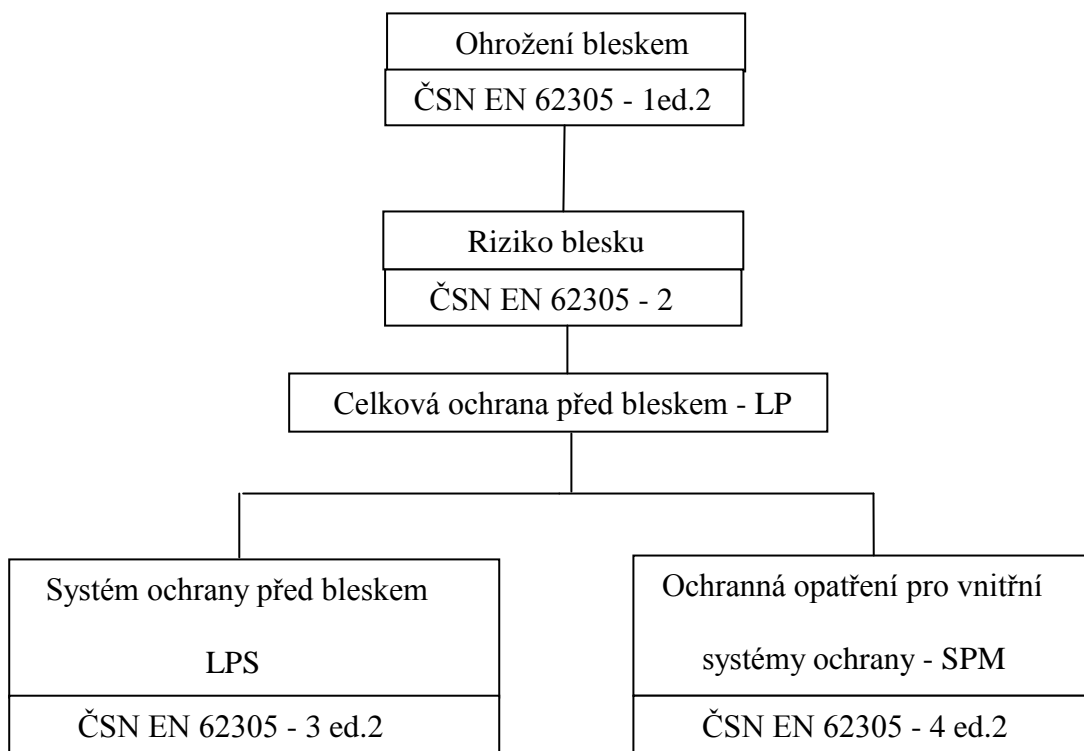
ČSN 33 2000-4-443 ed.2 *Ochrana proti atmosférickým nebo spínacím přepětím*

Norma se zabývá ochranou elektrických instalací proti přechodným přepětím atmosférického původu přenášených napájecí distribuční soustavou a proti spínacím přepětím. Dále zavádí meze impulsních výdržných napětí pro spotřebiče. [10]

ČSN EN 62305 Ochrana před bleskem

Údery blesku do staveb, nebo sítí s nimi spojených a v jejich blízkostech jsou nebezpečné pro lidi, samotné stavby a jejich obsah stejně tak pro instalace a sítě. Proto je nutné používat ochranu před bleskem.

Tento soubor norem je tvořen čtyřmi normami zabývající se ochranou před účinky atmosférických výbojů. Tento soubor nahradil ČSN 341390. [3]



Obrázek 1 Propojení souboru norem řady ČSN EN 62305 [3]

LP - (lightning protection), ochrana před bleskem

SPM - (surge protection measures), ochranná opatření pro vnitřní systém ochrany před elektromagnetickým impulsem vyvolaným bleskem

LPS - (lightning protection system), systém ochrany před bleskem [3]

ČSN EN 62305-1 Obecné principy

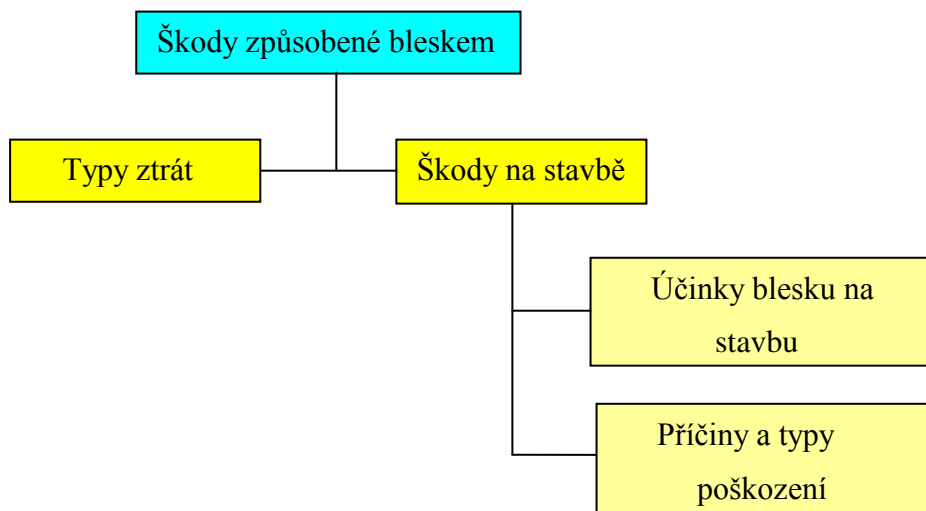
Tato norma poskytuje obecné principy, které by měly být respektovány při ochraně staveb před bleskem, včetně jejich instalací a obsahu, stejně jako osob. [3]

Uvádí:

1. Parametry bleskového proudu

- parametry bleskového proudu,
- časové funkce bleskového proudu,
- informace pro napodobení bleskového proudu,
- základní parametry používané v laboratoři pro napodobování účinků blesku na prvky,
- informace o rázových vlnách způsobených bleskem. [3]

2. Škody způsobené bleskem



Obrázek 2 Členění škod způsobené bleskem

Škody na stavbě

Blesk působící na stavbu může způsobit poškození vlastní stavby, jejích obyvatel a obsahu, včetně poruch vnitřních systémů. Poškození a poruchy mohou také zasáhnout okolí stavby a dokonce postihnout místní životní prostředí. Míra tohoto zasažení závisí na vlastnostech stavby a na charakteristikách úderu blesku. [3]

Účinky blesku na stavbu

- požár
- průraz elektrických instalací
- porucha nebo zničení elektrického a elektronického zařízení a systémů
- nebezpečné krokové napětí

Příčiny a typy poškození staveb

Příčinou poškození je bleskový proud z hlediska polohy místa úderu vzhledem ke stavbě se musí brát v úvahu následující situace:

- S1 – úder do stavby
- S2 – údery v blízkosti stavby
- S3 – údery do sítí připojených ke stavbě
- S4 – údery v blízkosti sítí připojených ke stavbě

Souhrnně může blesk způsobit tři základní typy škod:

- D1 – úraz živých bytostí,
- D2 – hmotnou škodu způsobenou účinky bleskového proudu včetně jiskření,
- D3 – poruchu vnitřních systémů způsobenou elektromagnetickým impulzem vyvolaný bleskem. [3]

Typy ztrát

Každý typ škody týkající se chráněné stavby, samotný nebo v kombinacích s jinými, může vyvolat různé následné ztráty. Typ ztrát, které mohou nastat, závisí na vlastnostech samotné stavby.

- L1 – ztráty na lidských životech,
- L2 – ztráty na službách veřejnosti,
- L3 – ztráty na kulturním dědictví,
- L4 – ztráty ekonomické hodnoty. [3]

Tabulka 1 Škody a ztráty na stavbách dle různých míst úderů blesku [3]

MÍSTO ÚDERU	PŘÍČINA POŠKOZENÍ	TYP POŠKOZENÍ	TYP ZTRÁTY
Stavba	S1	D1	L1,L4
		D2	L1,L2,L3,L4
		D3	L1,L2,L4
V blízkosti stavby	S 2	D3	L1,L2,L4
Sít' připojená ke stavbě	S 3	D1	L1,L4
		D2	L1,L2,L3,L4
		D3	L1,L2,L4
V blízkosti inženýrské sítě	S 4	D3	L1,L2,L4

Tabulka 2 Typy ztrát a odpovídající rizika vyplývající z různých typů poškození [3]

Riziko R1	Riziko R2	Riziko R3	Riziko R4
Ztráty na lidských životech	Ztráty na službách veřejnosti	Ztráty na kulturním dědictví	Ztráty ekonomických hodnot
Úraz živých bytostí elektrickým proudem			Úraz ² živých bytostí elektrickým proudem
Hmotná škoda	Hmotná škoda	Hmotná škoda	Hmotná škoda
Porucha vnitřních systémů ¹	Porucha vnitřních systémů		Porucha vnitřních systémů

¹ Pouze pro nemocnice nebo jiné stavby, kde by porucha vnitřních systémů ohrožovala bezprostředně lidské životy.

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

Potřeba ochrany před bleskem

Každá potřeba ochrany chráněných objektů před bleskem za účelem snížení ztrát L1, L2, L3 se musí vyhodnotit.

Aby mohlo být vyhodnoceno, zda je nebo není potřebná ochrana objektu před bleskem, musí se provést ohodnocení rizika v souladu s postupy obsaženými ČSN EN 62305-2.

Ochrana před bleskem je potřebná, když je riziko R (R1 až R3) vyšší než přípustná hladina R_T .

$$R > R_T [3]$$

V případě, že je riziko R vyšší než R_T , musí být přijata ochranná opatření pro snížení rizika R (R1 až R3) na přípustnou hladinu R_T .

$$R \leq R_T [3]$$

Může-li v objektu nastat více než jeden typ ztrát, musí být splněna podmínka $R \leq R_T$ pro každý typ ztrát.

Ochranná opatření

Pro snížení rizika mohou být podle typu poškození přijata ochranná opatření.

Mezi ochranná opatření pro omezení úrazů živých bytostí způsobených elektrickým proudem patří:

- odpovídající izolace nechráněných vodivých částí
- vyrovnání potenciálu pomocí mřížové uzemňovací soustavy
- fyzické překážky a výstražné tabulky
- ekvipotenciální pospojování

Pro snížení hmotných škod použijeme systém ochrany před bleskem, který se skládá:

- jímací systém
- svody
- uzemňovací soustava
- ekvipotenciální pospojování
- elektrickou izolaci nebo dostatečnou vzdáleností proti vnějšímu systému ochrany před bleskem.

Ochranná opatření pro snížení poruch elektrických a elektronických systémů použijeme:

- opatření pro uzemnění a pospojování
- magnetické stínění
- směrování vedení
- izolační rozhraní
- koordinovanou ochranu pomocí přepěťových ochranných zařízení

Uvedená ochranná opatření společně tvoří celkovou ochranu před bleskem. [3]

Hladiny ochrany před bleskem - LPL (lightning protection level)

Pro účely norem pro ochranu před bleskem jsou zavedeny čtyři hladiny ochrany před bleskem: I, II, III, IV. Hladina ochrany před bleskem je číslo vztažené k souboru hodnot parametrů bleskového proudu, odpovídající pravděpodobnosti, že příslušné maximální a minimální návrhové hodnoty nebudou u blesků vyskytujících se v přírodě překročeny. Hladina ochrany před bleskem se používá pro návrh ochranných opatření podle odpovídajícího souboru parametrů bleskového proudu. [2]

Tabulka 3 Hladiny ochrany před bleskem [3]

Úroveň ohrožení Hladina ochrany před bleskem LPL	Maximální parametry bleskového proudu		Minimální parametry bleskového proudu	
	Maximální vrcholová hodnota bleskového proudu	Pravděpodobnost že vrcholová hodnota proudu skutečného výboje bude nižší než maximální	Minimální vrcholová hodnota bleskového proudu	Pravděpodobnost že vrcholová hodnota proudu skutečného výboje bude vyšší než minimální
I	200 kA	99 %	3 kA	99 %
II	150 kA	98 %	5 kA	97 %
III	100 kA	97 %	10 kA	91 %
IV	100 kA	97 %	16 kA	84 %

Zóny ochrany před bleskem - LPZ (lightning protection zone)

Další významnou pomůckou pro výběr ochranných opatření je rozdělení stavby do zón ochrany před bleskem LPZ. Ochranná opatření jako ochrana před bleskem, stínící vodiče, magnetická stínění a přepětové ochranné zařízení určují zóny ochrany před bleskem.

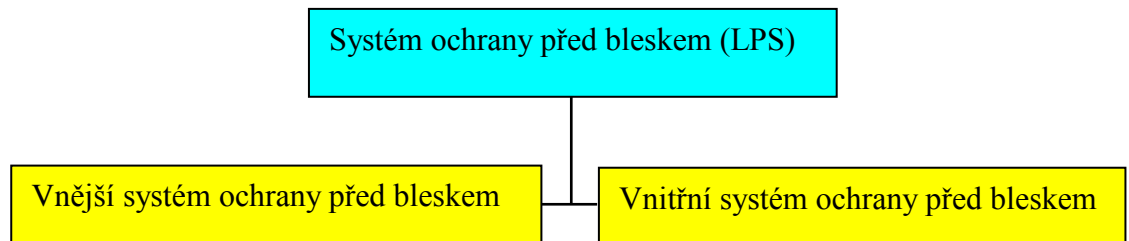
Tabulka 4 Zóny ochrany před bleskem [3]

Typ zóny	Charakteristika zóny	Ohrožení
LPZ 0 _A	Přímé ohrožení přímým úderem blesku a plným elektromagnetickým polem	Vnitřní systémy mohou být vystaveny plnému nebo dílčímu impulsnímu bleskovému proudu
LPZ 0 _B	Chráněno proti přímým účinkům blesku, hrozba plného elektromagnetického pole blesku.	Vnitřní systémy mohou být vystaveny dílčím impulsním proudům blesku.
LPZ 1	Impulsní proud je omezen rozdělením proudu a izolačním rozhraním a/nebo přepětovým ochranným zařízením.	Elektromagnetické pole blesku můžeme snížit pomocí prostorového stínění.
LPZ 2,...,n	Impulsní proud je omezen rozdělením proudu a izolačním rozhraním a/nebo dalším přepětovým ochranným zařízením.	Další elektromagnetické pole blesku můžeme snížit pomocí dalšího prostorového stínění.

Ochrana staveb

Ochrana pro snížení škod a ohrožení života

Chráněný objekt musí být v zóně LPZ 0_B.



Obrázek 3 Rozdělení systému ochrany před bleskem

Funkce vnější ochrany před bleskem:

- zachytit úder blesku do stavby pomocí jímací soustavy,
- svést bezpečně bleskový proud do země pomocí soustavy svodů,
- rozptýlit bleskový proud do země uzemňovací soustavou.

Funkce vnitřní ochrany pře bleskem:

- zabránit nebezpečnému jiskření uvnitř stavby za pomoci ekvipotenciálního pospojování nebo dostatečné vzdálenosti mezi vnějším systémem ochrany před bleskem a vodivými součástmi uvnitř stavby.

Ochrana pro snížení poruch vnitřních systémů

Chráněný objekt musí být v zóně LPZ 1 nebo vyšší.

Ochrana před elektromagnetickým impulsem vyvolaný bleskem musí omezovat:

- přepětí vyvolaná údery blesku do stavby, které způsobí odporová a induktivní vazba,
- přepětí vyvolaná údery blesku v blízkosti stavby, které způsobí induktivní vazba,
- přepětí přenesená z vedení připojených ke stavbě vyvolaná údery do vedení nebo v jejich blízkosti, magnetické pole přímo svázané s vnitřními systémy. [2]

Pomocí magnetických stínění a/nebo vhodným trasováním spojů zmenšující indukční smyčky dosáhneme zóny LPZ 1 nebo vyšší. Na hranicích zón při vstupu kovových částí a systémů musí být provedeno pospojování. Pospojování může být provedeno pomocí spojovacích vodičů nebo přepět'ovým ochranným zařízením.

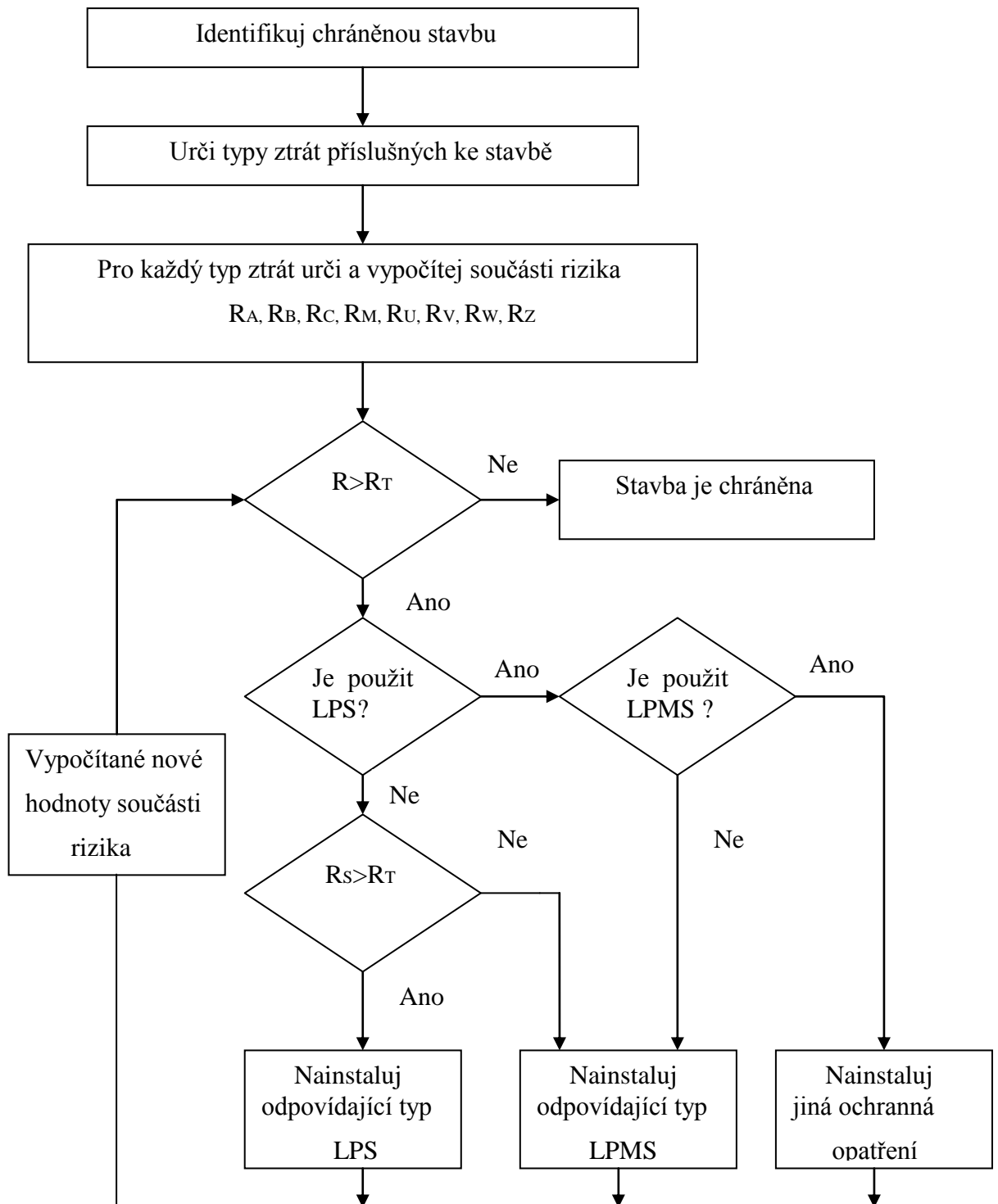
Účinné ochrany před přepětím, která způsobuje poruchy vnitřních systémů, může být rovněž dosaženo pomocí koordinovaných přepět'ových ochranných zařízení, která omezí přepětí pod jmenovité impulsní výdržné napětí chráněného systému. [2]

ČSN EN 62305-2 ed.2 - Řízení rizika

Zda a v jakém měřítku jsou nezbytná ochranná opatření pro snížení ztrát způsobených bleskem, může být stanoveno oceněním rizika. Účinek ochranných opatření vyplývá z vlastností každého opatření a může snížit pravděpodobnost poškození nebo rozsah následných ztrát. Povinnost realizovat výpočet řízení rizika podle normových hodnot, jehož výstupem bude výběr nejvhodnějších opatření je stanovena ve vyhlášce č.268/2009. [2]

LEMP - (lightning electromagnetic impulse), elektromagnetický impuls vyvolaný bleskem

LPMS - (LEMP protection measures system), kompletní systém ochranných opatření pro vnitřní systém ochrany před LEMP [3]



Obrázek 4 Postup pro rozhodnutí o potřebě ochrany [4]

Přípustné riziko R_T

Tam, kde úder blesku zahrnují ztráty na lidských životech nebo ztráty sociálních nebo kulturních hodnot, jsou typické hodnoty přístupného rizika R_T :

Tabulka 5 Hodnoty přístupného rizika [4]

Typy ztrát	R_T
Ztráty na lidských životech nebo trvalé úrazy	R^{-5}
Ztráta veřejné služby	R^{-3}
Ztráta kulturního dědictví	R^{-3}

Součásti rizika pro stavbu

Každá součást rizika $R_A, R_B, R_C, R_M, R_U, R_V, R_W, R_Z$, může být popsána následující obecnou rovnicí:

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X \quad [4]$$

N_X – počet nebezpečných událostí za rok

P_X – pravděpodobnost poškození stavby

L_X – následné ztráty

Tabulka 6 Součásti rizika pro stavby pro různé typy škod způsobené různými příčinami [4]

Škoda	Příčina poškození				Výsledné riziko podle typu škody
	S1 Úder blesku do budovy	S2 Úder blesku v blízkosti budovy	S3 Úder blesku do vstupující inženýrské sítě	S4 Úder blesku v blízkosti inženýrské sítě	
D1 Úraz živých bytostí	$R_A = N_D \times P_A \times r_a \times L_t$		$R_U = (N_L + N_{Da}) \times P_U \times r_u \times L_t$		$R_S = R_A + R_U$
D2 Hmotná škoda	$R_B = N_D \times P_B \times r_p \times h_z \times r_f \times L_t$		$R_V = (N_L + N_{Da}) \times P_V \times r_p \times h_z \times r_f \times L$		$R_F = R_B + R_V$
D3 Porucha elektrických a elektronických systémů	$R_C = N_D \times P_C \times L_o$	$R_M = N_M \times P_M \times L_o$	$R_W = (N_L + N_{Da}) \times P_W \times L_o$	$R_Z = (N_l - N_L) \times P_Z \times L_o$	$R_O = R_C + R_M + R_W + R_Z$
Výsledné riziko podle příčiny poškození	$R_D = R_A + R_B + R_C$	$R_I = R_M + R_U + R_V + R_W$			

ČSN EN 62305-3 ed.2 - Hmotné škody na stavbách a ohrožení života

V této normě jsou obsaženy požadavky na ochranu staveb před hmotnými škodami za pomoci systému ochrany před bleskem a pro ochranu před úrazem živých bytostí dotykovým a krokovým napětí v blízkosti systému ochrany před bleskem.

Třídy LPS

Parametry systému ochrany před bleskem LPS jsou určeny charakteristickými vlastnostmi chráněné stavby a uvažovanou hladinou ochrany před bleskem LPL.

Tabulka 7 Vztah mezi hladinou ochrany LPL a třídou LPS [5]

LPL	LPS
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Na třídě LPS jsou závislé:

- parametry blesku,
- poloměr valící se koule,
- oddělovací vzdálenosti proti nebezpečnému jiskření,
- minimální délkou zemničů.

Požadovaná třída LPS musí být vybrána na základě řízení rizika. [5]

Vnější systém ochrany

Vnější systém ochrany je určen k jímání přímých úderů do stavby včetně úderů do boku stavby a svedení bleskového proudu od bodu úderu do země.

Vnější systém ochrany tvoří:

- jímací soustava,
- svody,
- uzemňovací soustava.

Jímací soustava

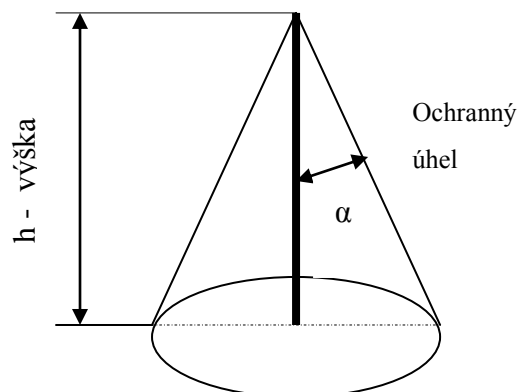
Jímací soustava může být tvořena kombinací tyčí (včetně samostatně stojících stožárů), zavěšených lan, mřížových vodičů. Umístění součástí jímací soustavy instalované na střeše musí být umístěny na rozích, exponovaných místech a hranách podle následujících metod:

- metoda ochranného úhlu,
- metoda valící se koule,
- metoda mřížové soustavy.

Metoda ochranného úhlu je vhodná pro jednoduché tvary budov s omezenou výškou jímací soustavy. U metody ochranného úhlu je ochranný prostor svíslé jímací tyče vytvořen pravoúhlým kuzelem s vrcholem umístěným v ose jímací tyče, polovičním vrcholovým úhlem α , který je závislý na třídě LPS a na výšce jímací soustavy dle obr. 5. [5]

Tabulka 8 Ochranný úhel v závislosti na výšce jímače (stavby) [2]

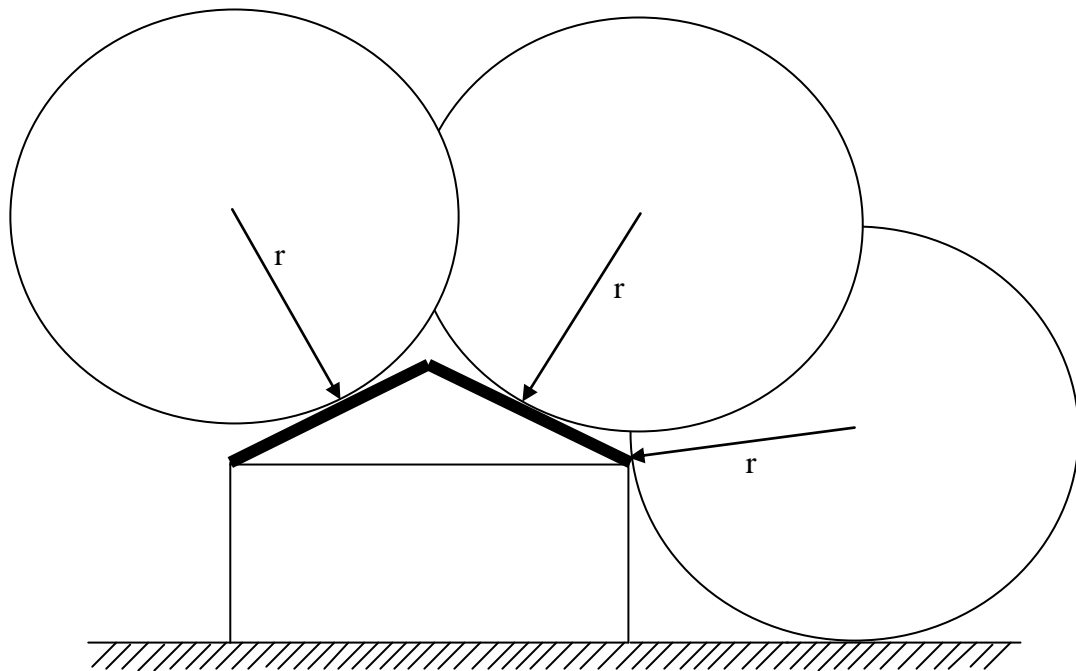
Třída LPS	Výška objektu h [m]			
	20 m	30 m	45 m	60 m
I	25°	*	*	*
II	35°	25°	*	*
III	45°	35°	25°	*
IV	55°	45°	35°	25°



Obrázek 5 Stanovení ochranného prostoru jímací tyče [5]

Metoda valící se koule je vhodná pro všechny objekty. Při použití této metody je umístění soustavy vhodné, není-li žádný bod chráněné stavby v dotyku s koulí o poloměru r , který je

závislý na třídě LPS, která se valí okolo chráněné stavby a přes její vrchol všemi možnými směry. Tímto způsobem se koule dotýká jen jímací soustavy. [5]



Obrázek 6 Jímací soustava podle metody valící se koule [5]

r - poloměr valící se koule

— jímací soustava

Tabulka 9 Maximální hodnoty poloměru valící se koule přiřazené k třídě LPS [5]

Třída LPS	Poloměr valící se koule r (m)
I	20
II	30
III	45
IV	60

Pro ochranu rovinných ploch je určena mřížová soustava, která bude chránit celkovou plochu, budou-li splněny následující podmínky:

a) Vodiče jímací soustavy jsou umístěny:

- na okrajích střechy,
- na převisech střechy
- na hřebenech střechy, jeli sklon střechy větší než 1/10.

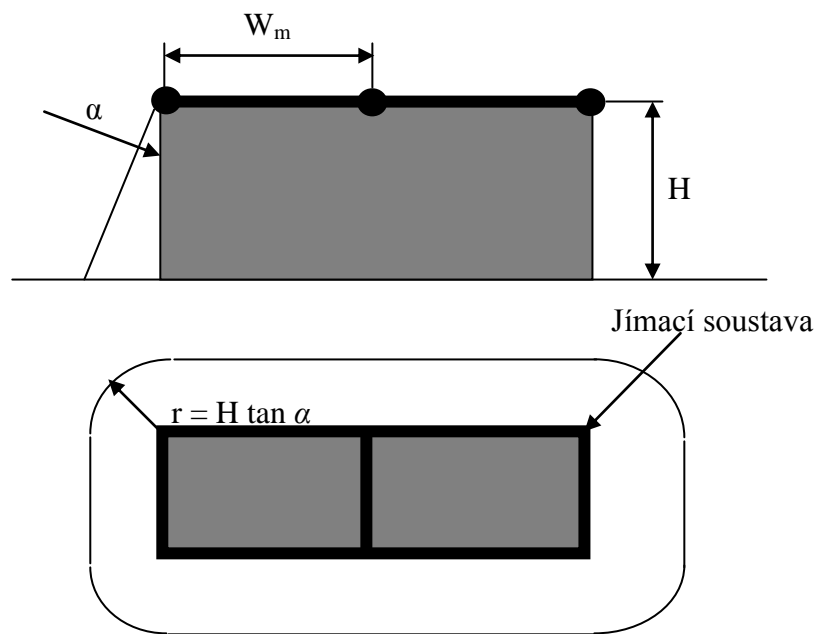
b) Rozměry ok mřížové soustavy nejsou větší než hodnoty uvedené v tabulce 9.

c) Síť jímací soustavy je provedena tak, že bleskový proud může téct vždy minimálně dvěma kovovými dráhami do uzemňovací soustavy.

d) Žádné kovové instalace nevystupují vně prostoru chráněného jímací soustavou.

e) Vodiče jímací soustavy budou uloženy, pokud možno co nejkratší a nejpřímější dráhou.

[5]



Obrázek 7 Ochranný prostor neizolované mřížové jímací soustavy [5]

Tabulka 10 Maximální velikosti ok k přiřazené třídě LPS [5]

Třída LPS	Velikost ok W_m (m)
I	5 x 5
II	10 x 10
III	15 x 15
IV	20 x 20

Soustava svodů

Aby se snížila pravděpodobnost škod způsobených bleskem, který proteče LPS, je nutno svody umístit tak, aby mezi místem úderu a zemí:

- bylo více paralelních drah proudu,
- délka dráhy proudu byla co možná nejkratší,
- bylo provedeno ekvipotenciální pospojování k vodivým součástem stavby.

Pro každý LPS musí být použity v každém případě minimálně dva svody. Svody by měly být rozmístěny po obvodu ve stejných rozestupech. [5]

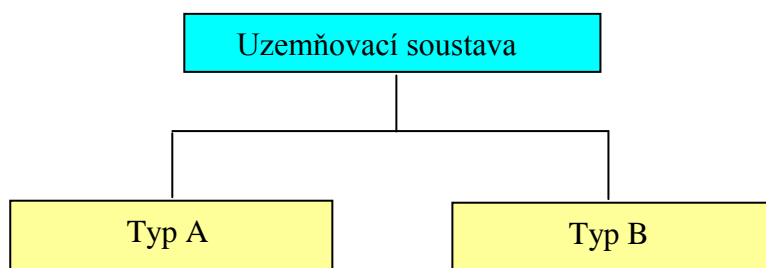
Tabulka 11 Vzdálenosti mezi svody dle třídy LPS [5]

Třída LPS	Vzdálenost mezi svody (m)
I	10
II	10
III	15
IV	20

Každý svod připojený k uzemňovací soustavě musí být opatřen zkušební svorkou.

Uzemňovací soustava

Důležitým kritériem uzemnění jsou jeho tvary a rozměry tak, aby došlo k rozdělení bleskového proudu do země a byla zmenšena nebezpečná přepětí. Tvar a rozměry uzemňovací soustavy hrají důležitou roli. Všeobecně je doporučen nízký zemní odpor, tento by měl být nižší než 10 Ω . [5]



Obrázek 8 Druhy uzemňovacích soustav

Typ A

Toto uspořádání se skládá z vodorovných nebo svislých zemničů, instalovaných vně chráněné stavby, které netvoří uzavřenou smyčku. Pro toto uspořádání nesmí být celkový počet zemničů nižší než dva.

Typ B

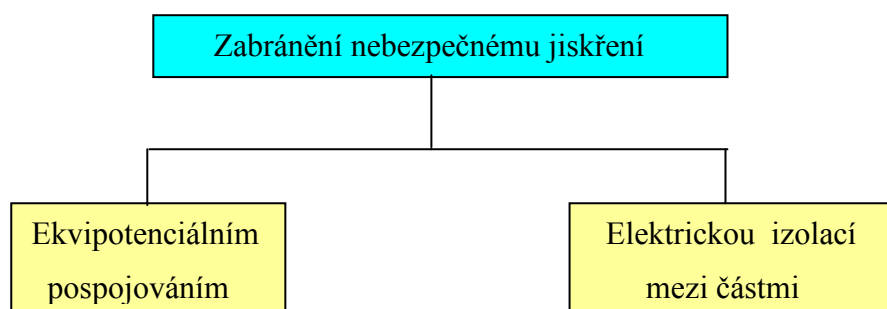
Toto uspořádání uzemňovací soustavy sestává buď z obvodového zemniče vně chráněné stavby, který je uložen minimálně 80% své celkové délky v zemině, nebo ze základového zemniče. Takový zemnič může být i mřížový. Obvodový zemnič typu B by měl být přednostně uložen v nezamrzající hloubce země a ve vzdálenosti 1m od vnějších zdí stavby. [2]

Vnitřní systém ochrany před bleskem

Vnitřní LPS musí bránit nebezpečným jiskřením uvnitř chráněné stavby, která mohou být způsobena průchodem bleskového proudu nejen ve vnějším LPS, ale také v jiných vodivých částech stavby.

Nebezpečná jiskření mohou vznikat mezi vnějším LPS a jinými součástmi jako:

- kovovými instalacemi,
- vnitřními systémy,
- vnějšími vodivými částmi a vedeními připojenými ke stavbě. [5]



Obrázek 9 Způsob zabránění jiskření

Ekvipotenciální pospojování proti blesku

Vyrovnání potenciálů se dosáhne vzájemným propojením LPS s:

- kovovými instalacemi,
- vnitřními systémy,
- vnějšími vodivými částmi a vedeními připojenými ke stavbě. [5]

Je-li instalováno ekvipotenciální pospojování proti blesku s vnitřními systémy, může část bleskového proudu téct do těchto systémů a musí se k tomu přihlížet.

Vzájemné spojení může být provedeno:

- vodiči pospojování, není-li dosaženo vodivého spojení náhodnými spoji,
- přepětovými ochrannými zařízeními SPD (surge protective device), kde není možno provést přímé připojení vodičů pospojování,
- oddělovací jiskřiště ISG (isolating spark gap), jestliže není dovoleno přímé spojení s vodiči pospojování. [5]

V případě izolovaného (oddáleného) vnějšího LPS musí být ekvipotenciální vyrovnání proti blesku provedeno jen na úrovni terénu.

Pro vnější LPS, který není izolován, musí být ekvipotenciální pospojování proti blesku instalováno v následujících místech:

- ve sklepě nebo přibližně v úrovni terénu. Vodiče pospojování proti blesku musí být připojeny k přípojnicí pospojování, která je konstruována a instalována tak, aby byla lehce přístupná za účelem revize. Přípojnice pospojování musí být spojena s uzemňovací soustavou,
- tam kde nejsou splněny požadavky na izolaci. [5]

Jsou-li vodiče vnitřních systémů stíněny nebo uloženy v kovovém kanálu, může postačovat jen pospojování stínění a kanálů.

Všechny vodiče každého vedení by měly být pospojovány přímo nebo přes SPD. Živé vodiče musí být pospojovány přes SPD pouze k přípojnicí pospojování. Vodiče PE nebo PEN v sítích TN musí být pospojovány přímo nebo přes SPD k přípojnicí pospojování. [5]

Elektrická izolace vnějšího LPS

Elektrické izolace mezi jímací soustavou nebo svody na jedné straně a kovovými částmi stavby, kovovými instalacemi a vnitřními systémy na straně druhé může být dosaženo zajištěním dostatečné vzdálenosti s mezi těmito částmi. [5]

Obecná rovnice pro výpočet s je:

$$s = k_i / k_m \times k_c \times l \quad (\text{m}) \quad [5]$$

k_i - koeficient závislý na zvolené třídě LPS

k_m - koeficient závislý na materiálu elektrické izolace

k_c – koeficient závislý na částečném bleskovém proudu tekoucím jímači a svody

l – délka v metrech, podél jímací soustavy a svodu, od bodu, kde je zjišťována dostatečná vzdálenost, k nejbližšímu bodu ekvipotenciálního pospojování nebo zemnicí soustavy.

Tabulka 12 Hodnoty koeficientu k_i [5]

Třída LPS	k_i
I	0,08
II	0,06
III až IV	0,04

Tabulka 13 Hodnoty koeficientu k_c [5]

Počet svodů n	k_c
1 (pouze v případě izolovaného LPS)	1
2	0,66
3 a více	0,44

Tabulka 14 Hodnoty koeficientu k_m [5]

Materiál	k_m
Vzduch	1
Beton, cihla, dřevo	0,5

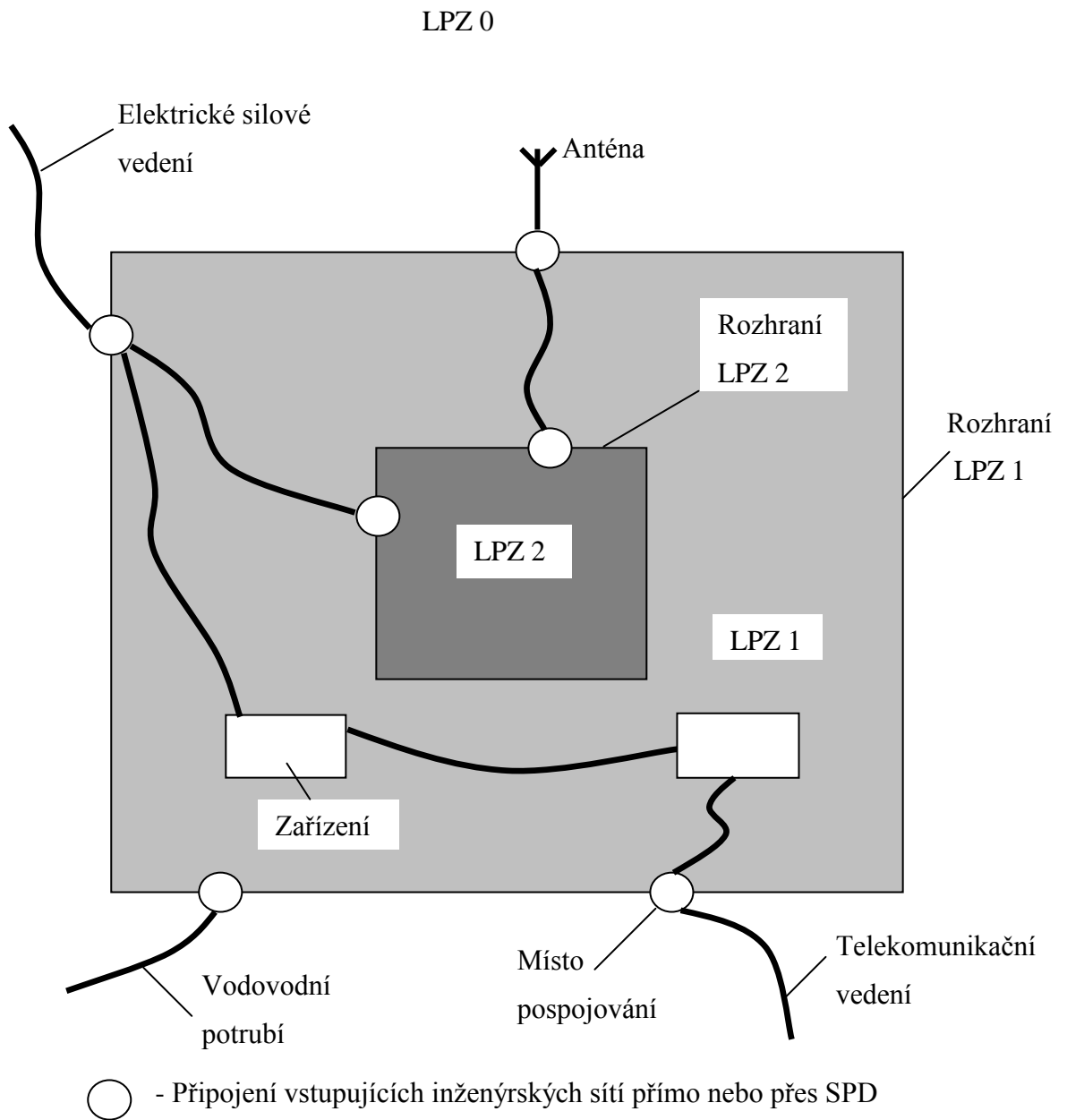
ČSN EN 62305-4 ed.2 Elektrické a elektronické systémy v budovách

Čtvrtá část obsahuje informace pro návrh, instalaci, revizi, údržbu a zkoušení ochranných opatření před elektromagnetickým impulsem vyvolaný bleskem pro elektrické a elektronické systémy uvnitř staveb, která jsou schopna snížit riziko stálých poruch způsobených elektromagnetickým impulsem blesku. Norma poskytuje metodické pokyny pro spolupráci mezi projektantem elektrického a elektronického systému a projektantem ochranných opatření s cílem dosáhnout optimální efektivity ochrany. [2]

Elektrické a elektronické systémy jsou ohroženy elektromagnetickým impulsem vyvolaným bleskem (LEMP). Ochrana před LEMP je založena na koncepci zón ochrany před bleskem (LPZ): prostor, který obsahuje ochranný systém, musí být rozdělen do LPZ. K těmto zónám jsou teoreticky přiřazené prostory, kde úroveň LEMP je shodná s odolností systémů uvnitř zón. Následné zóny jsou charakterizovány podstatnými změnami odolnosti proti LEMP. Rozhraní LPZ je definováno použitými ochrannými opatřeními. [6]

Příklad rozdělení stavby dovnitř LPZ: všechny kovové inženýrské sítě vstupující do stavby jsou pospojovány přes hlavní ekvipotenciální přípojnicí na rozhraní LPZ 1. Kromě toho

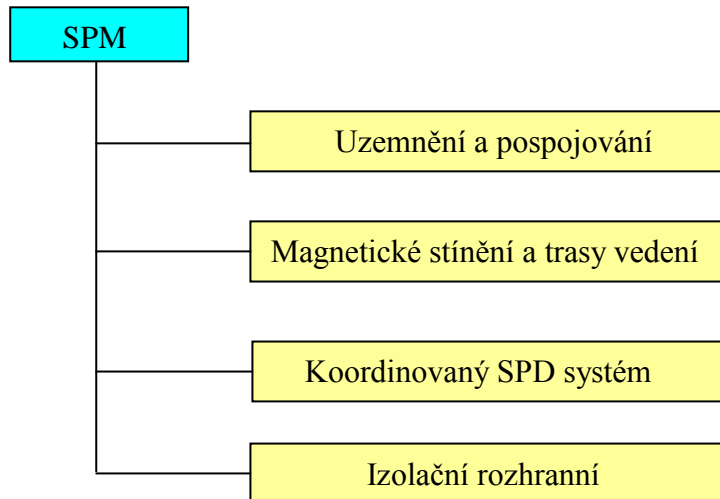
jsou metalické inženýrské sítě vstupující do LPZ 2 pospojovány přes přípojnice na rozhraní LPZ 2. [2]



Obrázek 10 Obecný princip rozdělení do různých LPZ [6]

SPM – ochranná opatření pro vnitřní systém ochrany před LEMP

LEMP - elektromagnetický impulz vyvolaný bleskem [3]



Obrázek 11 Ochranná opatření pro SPM

Uzemnění a pospojování

1. Soustava uzemnění zavádí a rozptyluje bleskový proud do země.
2. Soustava pospojování minimalizuje rozdíly potenciálů a může snížit i magnetické pole.

Ve stavbách jen s elektrickými systémy může být použito uspořádání zemnění typu A. Ve stavbách s elektronickými systémy je doporučeno uspořádání uzemnění typu B. Obvodový zemnič kolem budovy, nebo obvodový zemnič v obvodu betonového základu stavby, by měl být spojen s mřížovou soustavou pod a kolem stavby s obvyklou šíří ok 5metrů. Též dostačuje, je-li podlaha v suterénu ze železobetonu dobře vzájemně spojena do mřížové soustavy a je připojena k uzemňovací soustavě každých 5 metrů.

Pospojováním soustavy docílíme nízké impedance, která je potřebná k zabránění nebezpečným rozdílům potenciálů mezi všemi zařízeními uvnitř vnitřních zón ochrany před bleskem (LPZ). Toho docílíme pomocí mřížové soustavy pospojování zahrnující kovové části stavby, nebo části vnitřních systémů, a pospojováním kovových částí nebo metalických inženýrských sítí na rozhraní každé LPZ buď přímo, nebo vhodným přepěťovým ochranným zařízením (SPD). [6]

Magnetické stínění a trasy vedení

1. Prostorové stínění
2. Stínění vnitřních vedení
3. Vedení tras vnitřních vedení
4. Stínění vnějších vedení

Prostorové stínění určuje ochranné zóny, které mohou pokrýt celou stavbu nebo část stavby popřípadě jednu místnost nebo jen kryt zařízení. Prostorové stínění je vhodné tam, kde je účelnější a užitečnější chránit definovanou zónu stavby místo několika jednotlivých zařízení.

U stínění vnitřních vedení je stínění omezeno na kabeláž a zařízení chráněného systému. Toho můžeme dosáhnout kovovým stíněním kabelů, uzavřenými kabelovými kanály a kovovými kryty zařízení.

Vhodnou trasou vnitřního vedení se minimalizují indukční smyčky a omezuje vytváření rázových vln napětí uvnitř stavby. Popřípadě použít potřebnou vzdálenost mezi silovým a nestíněným vedením.

Stínění vnějších vedení vstupujících do stavby zahrnuje stínění kabelů, uzavřených kabelových kanálů a betonových kabelových kanálů se vzájemně pospojovaným armováním. [6]

Koordinovaný systém SPD

V SPM používající koncept zón ochrany před bleskem s více než jednou LPZ (LPZ 1, LPZ 2 a vyšší), musí být SPD umístěny na vstupu vedení do každé LPZ.

Koordinovaný systém SPD by měl být instalován:

- na vstupních vedeních do objektu nebo na hranici LPZ 1 (hlavní rozvaděč) se nainstaluje SPD 1,
- určí se impulsní výdržné napětí U_W vnitřních systémů, které mají být chráněny,
- vybere se napěťová ochranná úroveň U_{P1} u SPD 1.

Pokud je potřeba SPD 2:

- instaluje se blíže k zařízení (na rozhraní LPZ 2) například v podružném rozvaděči,
- vybere se úroveň ochrany U_{P2} u SPD 2.

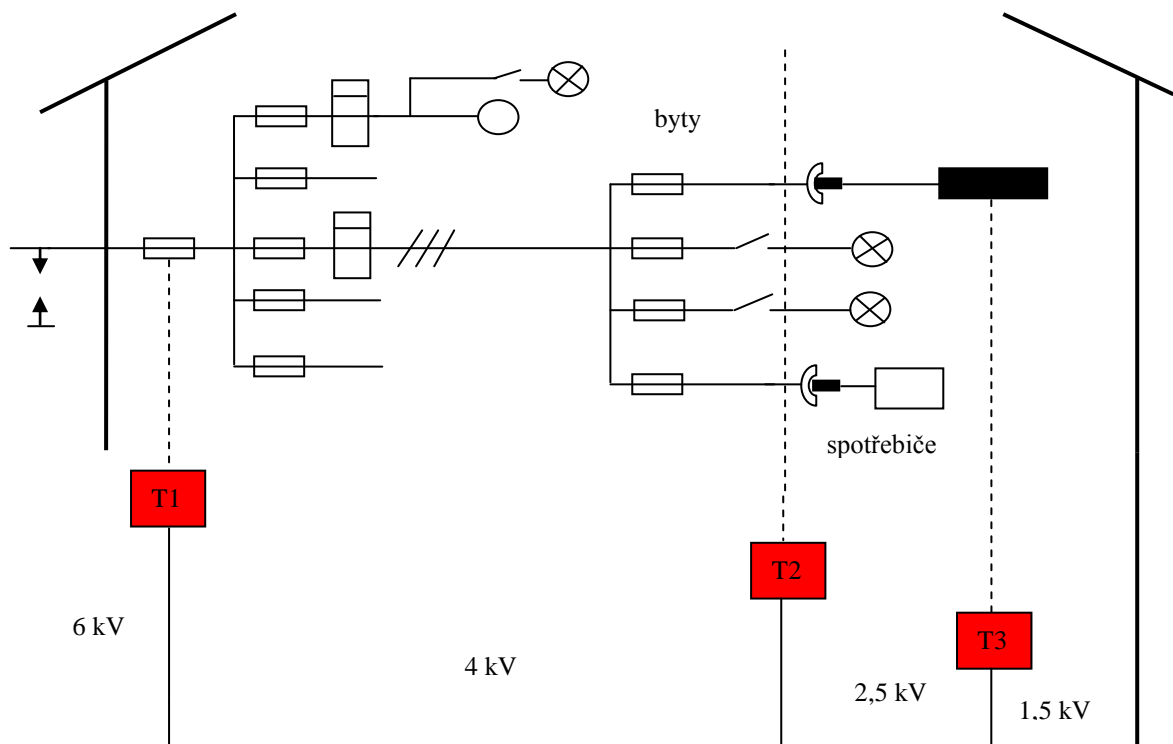
Pokud je dále vyžadován SPD 3:

- instaluje se v blízkosti chráněného zařízení (například v zásuvce),
- zkontroluje se, že je splněna podmínka $U_{P/F3} \leq U_W$. [6]

Izolační rozhraní

Izolační rozhraní omezuje účinky rázových vln na vedení připojených k LPZ. [6]

ČSN EN 60664-1ed.2 Koordinace izolace zařízení nízkého napětí - Část 1: Zásady, požadavky a zkoušky



Obrázek 12 Impulsní výdržná napětí U_{imp} pro síť nn 230/400V [8]

venkovní přívod: 6 kV- kategorie přepětí IV

pevná instalace: 4 kV – kategorie přepětí III

spotřebiče: 2,5 kV – kategorie přepětí II

slaboproudé

spotřebiče: 1,5 kV – kategorie přepětí I [7]

Na vstupu objektu musí být zajištěna napěťová hladina přepětí maximálně 6 kV, tuto hladinu zajistí distributor elektrické energie. Tato úroveň přepětí však může poškodit jak kabeláž, tak i nainstalované modulární přístroje. Ke snížení přepětí použijeme první stupeň přepět'ové ochrany T1, který umístíme na vstupu, co nejbliž'ě okraji objektu. T1 sníží přepět'ovou hladinu na 4 kV nebo nižší.

Dalším stupněm přepět'ové ochrany T2 se sníží přepět'ová hladina na 2,5 kV nebo nižší. Proti této hodnotě přepětí je již dimenzována většina spotřebičů.

Třetí stupeň T3 nám zaručí, že přepět'ová hladina nepřesáhne 1,5 kV. Zároveň reaguje na přepětí ze všech tří stupňů nejrychleji. Za takovou vícestupňovou ochranou jsou v bezpečí i ty nejcitlivější elektronické spotřebiče. [8]

Dílčí závěr

Stěžejní legislativní rámec problematiky ochrany slaboproudých systémů před přepětím představují zákony 22/1997 Sb. a 183/2006 Sb. a dále vyhláška 268/2009 Sb.

Zákon 22/1997 Sb. upravuje způsob stanovování technických požadavků na výrobky, které mohou ve zvýšené míře ohrozit zdraví nebo bezpečnost osob, majetek nebo životní prostředí.

Zákon 183/2006 o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) uvádí, že prováděcí právní předpisy budou stanoveny v nařízeních vlády, vyhláškách ministerstev. Jedním takovým prováděcím předpisem je vyhláška 268/2009Sb. o technických požadavcích na stavby. Tato vyhláška obsahuje požadavky na zřízení ochrany před bleskem na budovách.

Mezi nejdůležitější normy v dané oblasti patří ČSN EN 62 305 – 4 ed.2 Elektrické a elektronické systémy v budovách, která zavádí koordinovaný systém přepět'ových ochranných zařízení.

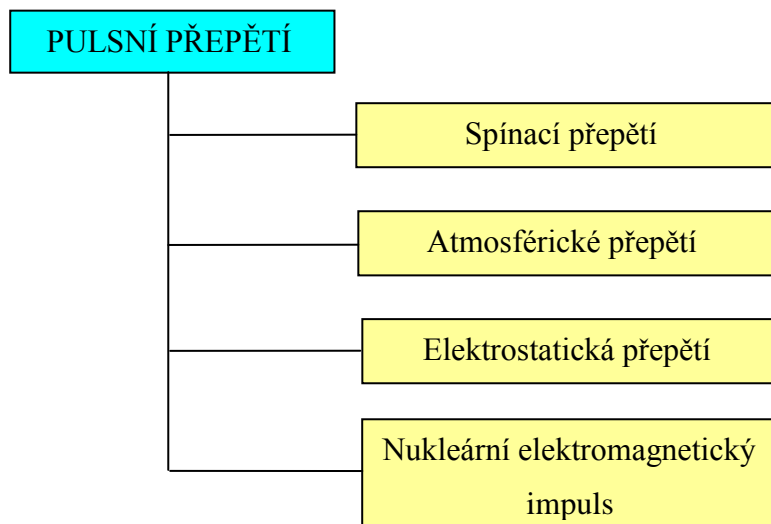
2 ZDROJE PŘEPĚTÍ A NADPROUDU

Elektrické přepětí je napětí vyšší než nejvyšší dovolené provozní napětí pro dané zařízení. Provozní přepětí je rovno jmenovitému napětí zvýšeného o povolenou toleranci napětí.

Pulzní přepětí je krátkodobé přepětí, trvající řádově nanosekundy až milisekundy. Patří mezi nejvýraznější a nejškodlivější projevy elektromagnetické intervence (rušivých vlivů) a ohrožuje zvláště elektronické zařízení obsahující polovodičové součásti. [9]

Důsledky přepětí v elektrotechnice a elektronice:

- požáry,
- poškození izolace,
- poškození přístrojů a jejich elektronických součástek,
- vyvolání nebezpečných provozních stavů,
- chybové stavy zařízení požární ochrany,
- poškození nebo chybové stavy zabezpečovacích zařízení,
- poškození nebo chybové stavy měření a regulace,
- poškození komunikačních zařízení,
- poškození zařízení na zpracování dat,
- ztráta nebo poškození uložených dat. [10]



Obrázek 13 Druhy pulsního přepětí

2.1 Spínací přepětí (SEMP – Switching Elektromagnetic Pulse)

Spínací přepětí mají původ ve spínacích procesech. Zdrojem spínacího přepětí je především odpinání, spínání a zkratové procesy v elektrické síti.

V oblasti odpínání je to odpojení nezatížených zařízení s indukčností připojených paralelně ke zdroji napětí (transformátory, vinutí cívek stykačů, relé a kompenzační cívky). Tyto zařízení mají mimo indukčnosti i kapacitu. Při odepnutí na prázdno nastane tlumené kmitání na vzniklém rezonančním obvodu. [10]

V případě odpínání sériově připojených zařízení s indukčností od velkých proudových zdrojů, dochází při rozpojení indukčního obvodu, kterým prochází proud k zachování proudu i po rozpojení obvodu. Velikost vzniklého přepětí závisí na indukčnosti obvodu a na procházejícím proudu v okamžiku rozpojení.[10]

V napájecích energetických sítích se vyskytuje řada přechodových jevů spojených se spínacími nebo rozpínacími pochody mechanických či elektrických spínačů. V sítích vysokého a velmi vysokého napětí dochází k vysokofrekvenčním oscilacím při zapínání vlivem kapacity a indukčnosti spínacích vedení. Tlumené oscilace s kmitočtem do několika MHz dosahují velikosti několika tisíc voltů. Pro svůj vysoký kmitočet se tyto oscilace kapacitními vazbami snadno šíří až do sítí nízkého napětí.

Další typ rušení vzniká v napájecích sítích nízkého napětí při činnosti stykačů a jističů, popřípadě mechanických relé. Při přechodovém jevu rozpojování obvodu obsahující indukčnost dochází v okamžiku rozpojení kontaktů k rychlé změně (přerušení) proudu

$$di/dt$$

a tím vzniku vysokého rušivého napětí $u = -L \times di/dt$, které leží prakticky celé mezi oběma kontakty spínače. Mezi kontakty tak vznikne obloukový výboj a napětí na kontaktech klesne skokem k nule. Tím výboj zhasne a mezi kontakty začne opět narůstat napětí. Pokud jeho velikost opět překročí průraznou pevnost vzduchu mezi vzdalujícími se kontakty spínače, oblouk mezi spínači se opět zapálí a celý děj se může několikrát opakovat. Na rozpojovaných kontaktech tak vznikají velmi strmé impulsy s krátkou náběžnou hranou jen několik ns, ale s napětím až několika kV. Podobné procesy vznikají rovněž při spínání indukčnosti, avšak velikost napětí je menší. [11]

Další typ impulsního přepětí vzniká v usměrňovačích diodového typu a zejména v systémech tyristorového řízení, ale i při tyristorové regulaci otáček. Při rychlém spínání dochází vlivem parazitních indukčností a kapacit navazujících obvodů ke vzniku nežádoucích kmitů. Stupeň jejich potlačení závisí na kvalitě souvisejících filtračních obvodů, bez kterých by tato zařízení neměla být provozována.

Neopominutelným je též vznik přepětí zkratem v napájecí soustavě. V případě zkratů dochází ke skokové změně napětí a procházejícího proudu. Jelikož elektrický obvod se skládá s indukčností a kapacitami dochází i zde ke vzniku tlumených kmitů.

Zdroji spínacích přepětí mohou být nejen velké průmyslové stroje, ale také poměrně malé domácí přístroje a zařízení. Silné přepětěvé impulsy mohou též generovat i zářivková svítidla, přenosné svařovací přístroje, ale i běžné domácí spotřebiče s komutátorovým motorem jako jsou mlýnky, vysavače, mixéry. [11]

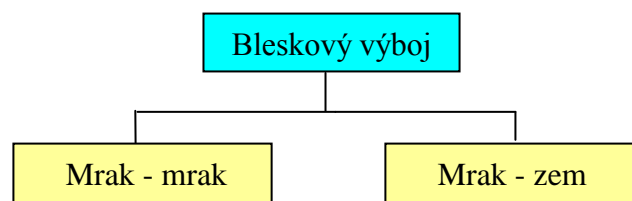
2.2 Atmosférické přepětí (LEMP Lightning Elektromagnetic Pulse)

Nejdůležitějším přírodním zdrojem přepětí je bleskový výboj. Úder blesku ohrožuje elektrická a elektronická zařízení až do vzdálenosti 4 km. Vybíjení atmosférické elektřiny bleskem způsobuje vznik strmého elektromagnetického impulsu, který má na zasažená i vzdálenější zařízení rušivé až destruktivní účinky. Velikost proudu bleskového výboje činí až 200 kA.

Přímý úder blesku do budovy má za následek rázový impuls proudu, který neprotéká jen hromosvodovým svodem, ale může se uzavírat i přes kovové konstrukce budovy, a tedy protéká i vnitřkem budovy v blízkosti elektronických zařízení. Kromě silného magnetického pole indukuje v síťovém rozvodu budovy sekundární napětěvé rázy.

Nepřímý účinek blesku spočívá v zavlečení napětěvého rázového impulsu z vnějšího vedení nízkého, případně i vysokého napětí do vnitřního síťového rozvodu budov. [11]

V důsledku průchodu bleskového proudu hromosvodovou soustavou, vzniká v jeho okolí magnetické pole, které má stejný tvar vlny. Bleskový proud se může skládat z prvního výboje I_f o tvaru vlny 10/350 μ s a následných výbojů I_s o tvaru vlny 0,25/100 μ s. [12]



Obrázek 14 Druhy bleskových výbojů

Typy úderů blesku:

- přímý úder blesku do objektu bez vnější ochrany před bleskem,
- přímý úder blesku do objektu s vnější ochrannou před bleskem,
- přímý úder do nadzemního vedení nn, vn,
- blízký úder blesku,
- vzdálený úder blesku. [10]

Přímý úder blesku do objektu bez vnější ochrany

Případný výboj nebo jeho dílčí části procházejí nekontrolovatelně nejrůznějšími prvky nosných i nenosných konstrukcí, rozvodů a vnitřních vybavení stavby. Tím může docházet k oteplování a vzniku potencionálních rozdílů. Tyto jevy mohou mít za následek ohrožení života a zdraví osob, požár, poškození izolace instalačních a přístrojových svorek elektrických rozvodů, vytrhání kabelů z držáků i z pod omítky. [10]

Přímý úder blesku do objektu s vnější ochrannou před bleskem

V tomto případě by do vnitřního prostoru stavby neměly pronikat žádné části bleskových proudů. Při přímém zásahu zařízení vnější ochrany před bleskem je výboj sveden jímacím zařízením a svody do uzemňovací soustavy. Zde se nachází uzemnění s nenulovým odporem, čímž se při průtoku bleskového proudu krátkodobě zvýší potenciál celé uzemňovací soustavy. Velikost vzniklého rozdílu potenciálu:

$$U = i R_{zem} \quad [10]$$

U - Rozdíl potenciálů, i- procházející proud atmosférického výboje, R_{zem} – celkový odpor uzemňovací soustavy.

Proto je nutné propojit všechny inženýrské sítě vstupující do budovy. [10]

Přímý úder blesku do nadzemního vedení nn, vn

Zde se přepět'ová vlna šíří po silovém vedení. U nn hrozí zavlečení podstatných částí bleskového proudu na vstupy připojených budov a v nich instalovaných zařízení. Vrcholovou hodnotu přepět'ových vln lze určit:

$$U = Z_0 I/2 \quad [10]$$

U- amplituda přepět'ové vlny, Z_0 – charakteristická impedance vedení, I- vrcholová hodnota proudu přeneseného výbojem do nadzemního vedení. [10]

Blízký úder blesku

Při úderu blesku v blízkosti chráněné budovy působí silné galvanické, kapacitní i indukční vazby. Zdrojem galvanických vazeb je nejčastěji společná uzemňovací soustava, přes kterou jsou nežádoucí rozdíly potenciálů rozváděny do všech vodivě připojených kabelů a vedení. Indukční a kapacitní vazby umožňují přenos přepět'ových impulsů mezi zcela samostatnými vedeními. [10]

Vzdálený úder blesku

V případě vzdáleného úderu atmosférického výboje se šíří vlny přepětí především po vedeních. Úder do nadzemního vedení nn může vyvolat vlny o vysokých amplitudách, schopných ničit izolaci nebo elektronické součástky na vzdálenost několika kilometrů. Při zásahu vn a vvn vedení dochází k tlumení vln přepětí na transformátorech, ale kapacitní vazby mezi vinutími, indukční vazby mezi přívody nebo galvanickou vazbu při společném uzemnění odstranit nelze. [10]

Dosah účinků vzdáleného úderu blesku může být až do vzdálenosti dvou kilometrů a jeho nepříznivé působení se projevuje stále častěji především v informačních sítích.

Bleskový výboj mezi mraky

U výbojů mezi mraky dochází k silné elektromagnetické indukci, která může přenášet nežádoucí impulsy do nejrůznějších slaboproudých nebo silových vedení na zemském povrchu. Takto vyvolané napěťové vlny se šíří po vedeních se stejnými účinky, jako v případě vzdáleného úderu blesku do vedení. [10]

2.3 Elektrostatická přepětí (ESD Electrostatic discharges)

Elektrostatický výboj nastane při vyrovnání náboje vzniklého mechanickým třením dvou izolantů. Vrcholová hodnota takto vzniklého výboje dosahuje až několik desítek kilovoltů a přes svou malou energii dokáže poškodit mnoho elektrostaticky citlivých elektronických součástek. [10]

2.4 Nukleární elektromagnetický impuls (NEMP – Nuclear Electromagnetic Pulse)

Jaderný výbuch ve výšce několika set kilometrů může být příčinou silného elektromagnetického rušení i bez provázení dalších jevů jako jsou tlaková a teplotní vlna. Zdrojem rušení je v tomto případě Comptonův jev, kvůli kterému dochází ke vzniku velice strmého a silného elektromagnetického impulsu (NEMP). Doba čela je menší než 10 ns a doba celého impulsu je v řádu stovek nanosekund. Jde tedy o výrazně kratší časy než v případě přepětíových impulsů vyvolaných atmosférickými nebo spínacími jevy. Proto také ochranu před těmito druhy přepětí nelze automaticky považovat za ochranu před NEMP.

Při jaderném výbuchu v menších výškách jako je atmosféra vzniká jiný typ elektromagnetického impulsu. Je ovlivněn magnetickým polem Země. Má menší amplitudu, ale podstatně delší dobu trvání (až stovku vteřin). Svými účinky především postihuje dlouhá podzemní a podvodní kabelová vedení, pro která je velmi silným zdrojem

rušení. Prvky ochrany před NEMP se používají bleskojistky, varistory, polovodičové diody, filtry. Určitým problémem je jejich rychlost. Strmá čela přepětových impulsů způsobených nukleárním výbuchem totiž zasahují až do frekvenčního pásma 10 GHz, kde se nežádoucím způsobem projevují i velmi malé parazitní kapacity. Proto je třeba věnovat výběru součástek, které mají chránit před účinky NEMP, zvláštní pozornost. [10]

Dílčí závěr

Mezi nejvýraznější nebezpečí slaboproudých zařízení patří krátkodobé přepětí trvající řádově nanosekundy až milisekundy. Tyto přepětí mohou být spínacího charakteru, kdy dochází k přepětí při spínání a odpínání zátěží, zkratech v elektrických sítích. Další skupinu přepětí tvoří, atmosférická přepětí vzniklá při bouřkové činnosti. Zde může být elektrické zařízení ohroženo přímým úderem do elektrické sítě nebo elektromagnetickou indukcí vyvolanou úderem blesku v blízkosti elektrického zařízení nebo elektrické sítě. Přepětí elektrostatické povahy mohou vznikat za pomoci tření dvou izolantů. Tímto přepětím jsou nejohroženější dílny vyrábějící elektronické součástky a zdravotnické přístroje. Čtvrtým typem přepětí je přepětí vyvolané nukleárním elektromagnetickým impulsem. S ochranou před tímto přepětím se počítá u zařízení, u kterých se počítá s funkčností v případě jaderného útoku.

3 TECHNICKÉ PROSTŘEDKY K OMEZENÍ ÚČINKŮ PŘEPĚTÍ

Vnější ochrana před bleskem nezajistí komplexní ochranu, protože chrání především budovu před požárem a dalšími škodami způsobenými blesky. Nemůže zabránit však tomu aby ničící energie atmosférického výboje, který udeřil v těsné blízkosti budovy, nevnikla po připojených vedeních do domu a zde zničila elektronické zařízení či způsobila požár.

Dalším problémem poruchy elektronických systémů jsou spínací přepětí v síti.

Proti tomu je účinná ochrana v podobě přepětových ochranných zařízení (SPD Surge Protection Device).

SPD- slouží k ochraně moderních elektronických zařízení v napájecích, telekomunikačních a datových sítí se jmenovitým střídavým napětím do 1000 V a jmenovitým stejnosměrným napětím do 1500 V před nepřímými a přímými účinky úderu blesku a transienčním (přechodným) přepětím a/ nebo k vyrovnání potenciálů/pospojování mezi živými a neživými částmi zařízení a vodivých konstrukcí.[2]

3.1 Technické údaje SPD

Dělení přepětových ochranných zařízení:

a) pracující na principu:

- jiskřiště,
- bleskojistky,
- varistoru,
- polovodičového přechodu.

b) dle použití:

- SPD do napájecích sítí nn (do 1000V),
- SPD do informačně-technických sítí,
- oddělovací jiskřiště do uzemňovacích soustav a pro vytváření potenciálového vyrovnání.

c) podle propustnosti impulsního proudu a jejich ochranného účinku:

- přepětové ochranné zařízení bleskových proudů (energeticky zkoordinované přepětově ochranné zařízení typ1),
- kombinované přepětové ochranné zařízení (typ 1 nebo 1+2),
- přepětové ochranné zařízení (typ 2 a 3) [10]

Jmenovité napětí U_N - hodnota jmenovitého napětí chráněného systému.

Maximální přípustné trvalé napětí U_C - maximální hodnota napětí, při které je SPD ještě v nevodivém stavu.

Jmenovitý proud I_L - nejvyšší hodnota provozního proudu, který může protékat trvale ochranou.

Zkušební bleskový impulsní proud I_{imp} - vrcholová hodnota zkušební vlny proudu z impulsního generátoru 10/350 μ s. Svými parametry (strmostí, velikostí náboje, specifickou energií) simuluje zatížení SPD skutečným bleskovým proudem. Přepěťové ochranné zařízení bleskových proudů musí tuto vlnu odvést i vícekrát, aniž by se přitom poškodily.

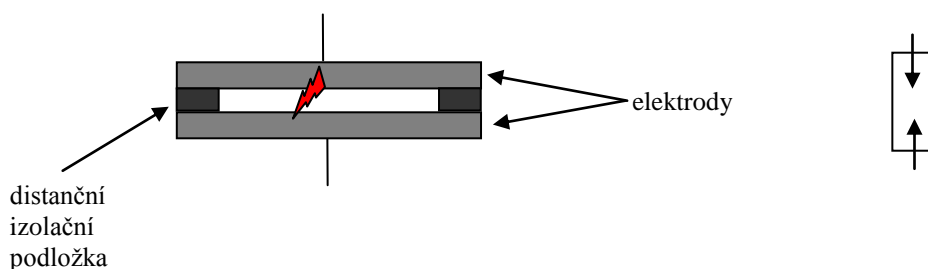
Maximální impulsní proud I_{max} - vrcholová hodnota impulsního proudu (tvaru vlny 8/20 μ s), který přepěťové ochranné zařízení spolehlivě odvede.

Jmenovitý impulsní proud I_n - vrcholová hodnota impulsního proudu (tvaru vlny 8/20 μ s), na kterou je přepěťové ochranné zařízení dimenzováno a testováno.

Ochranná úroveň U_P - ochranná úroveň charakterizuje schopnost přepěťového ochranného zařízení omezit přepětí na hodnotu zbytkového napětí. [2]

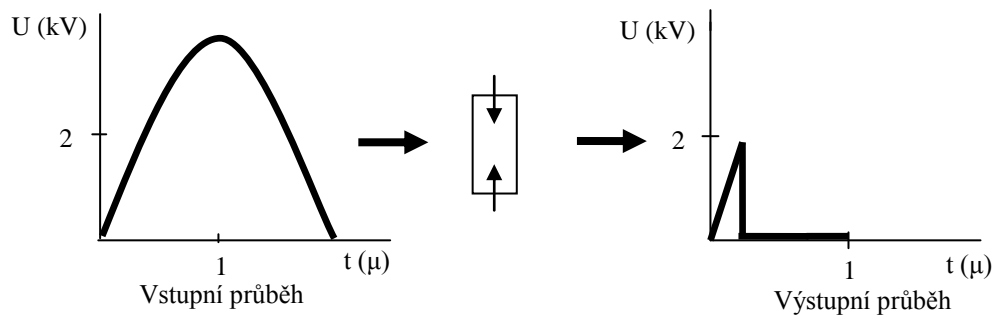
3.2 Jiskřiště a výkonové bleskojistky

Základní částí jiskřišť a výkonových bleskojistik je komora se dvěma či více kovovými nebo uhlíkovými elektrodami. Vzdálenost elektrod a vlastnosti okolního prostředí určují zásadním způsobem hodnotu zapalovacího, při kterém dojde k vyrovnání potenciálů mezi vzájemně nejbližšími elektrodami prostřednictvím elektrického výboje. U otevřených i uzavřených výkonových jiskřišť tvoří prostředí mezi elektrodami vzduch. Výkonové bleskojistky jsou zpravidla plněny technickými plyny. [10]



Obrázek 15 Princip jednoduchého jiskřiště [10]

Bleskojistky a jiskřiště mají velkou výhodu ve velkém vnitřním odporu při klidovém stavu, který zabraňuje vzniku nežádoucích unikajících proudů. Mají též schopnost svodu velkých impulsních proudů při malém svorkovém napětí.



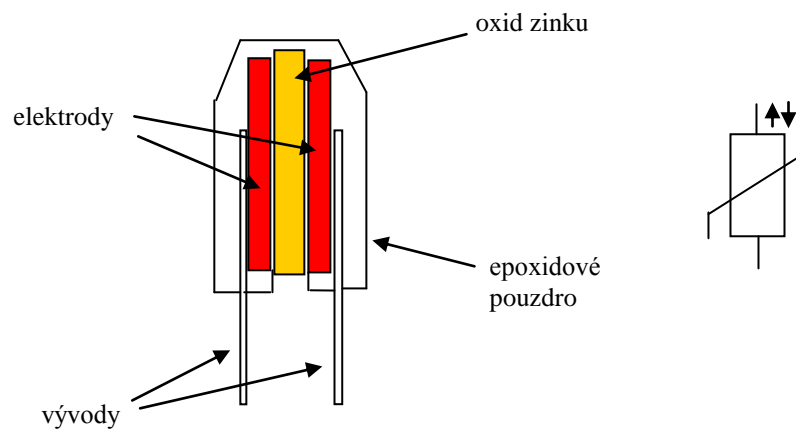
Obrázek 16 Pracovní charakteristika jiskřiště omezující úroveň i dobu trvání přepětí [10]

Nevýhodou jiskřišť a bleskojistek je malé svorkové napětí. Toto malá svorkové napětí může představovat zdroj komplikací v energetických napájecích sítích, neboť během funkce ochranného prvku vytváří zkrat v chráněné části sítě. Ke zhasnutí oblouku v jiskřišti je třeba přerušit procházející proud, k čemuž přirozenou cestou dochází jen ve střídavých sítích. Proto nelze instalovat zařízení pracující na principu jiskřišť do obvodů stejnosměrného proudu. Další nevýhodou jiskřišť a bleskojistek je pomalá odezva na vstupní přepětíový impuls, která závisí na době ionizace prostoru mezi elektrodami a pohybuje se okolo 100ns. Problematická vlastnost otevřených jiskřišť spočívá ve vyfukování žhavé plynné exhalace mimo pouzdro. Zde je potřeba dodržet montážní návody výrobce, tak aby nedocházelo k poškození okolní elektroinstalace.

Jiskřiště se používají jako SPD Typ1 a nebo k vyrovnání potenciálů v ochraně před bleskem mezi kovovými částmi stavby a souvisejícími technologickými rozvody, u nichž nelze z funkčních nebo jiných důvodů použít přímou galvanickou vazbu. Výkonové bleskojistky se používají především v zařízeních ochrany před přepětím pro slaboproudé rozvody. [10]

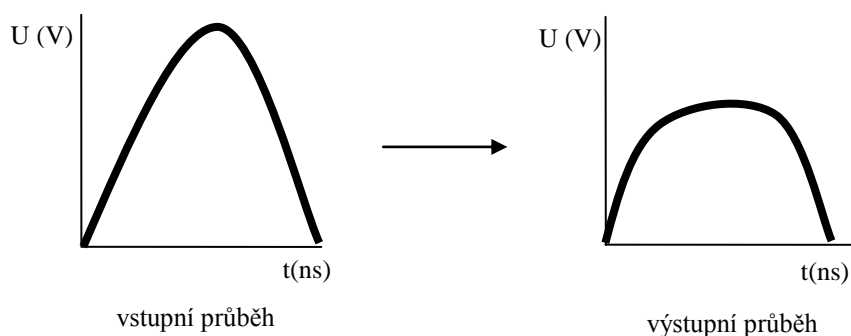
3.3 Varistory

Varistor je napětově závislý rezistor, vyrobený lisováním a spékáním práškové směsi složené z oxidů některých kovů. Vyznačuje se nelineární voltampérovou charakteristikou. Specifické vlastnosti této součástky vyplývají z velkého množství mikrovaristorů, které jsou spolu řazeny paralelně i sériově. Elektrický odpor přechodů mezi nimi se mění v závislosti na velikosti přiloženého napětí. Pro menší energetické zátěže mají zpravidla podobu terčů s drátovými vývody zalitými v epoxidové pryskyřici.



Obrázek 17 Řez varistorem [10]

Variátorová zařízení ochrany před přepětím pracují na principu změny odporu v závislosti na velikosti přiloženého napětí. Pro malá napětí je odpor značně velký, ale při větších napětích se odpor samovolně zmenšuje. Dochází k prudkému ohybu voltampérové charakteristiky, takže každé další zvýšení svorkového napětí provází mnohonásobně větší nárůst procházejícího proudu. Pokles svorkového napětí pod ohyb voltampérové charakteristiky způsobí opět samovolný nárůst vnitřního odporu varistorového prvku, jehož důsledkem je přerušení procházejícího svodového proudu. [10]



Obrázek 18 Omezující charakteristika varistoru [10]

Závislost napětí přiloženého na elektrody varistoru a proudu procházejícího touto součástí lze popsat:

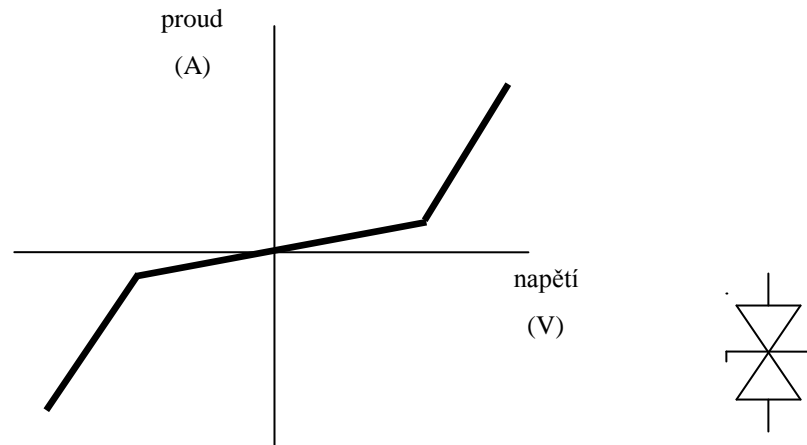
$$I = K \times U^\alpha \quad [10]$$

I- proud protékající varistorem, α – činitel nelinearity, U – svorkové napětí varistoru, K- lineární činitel tvaru křivky

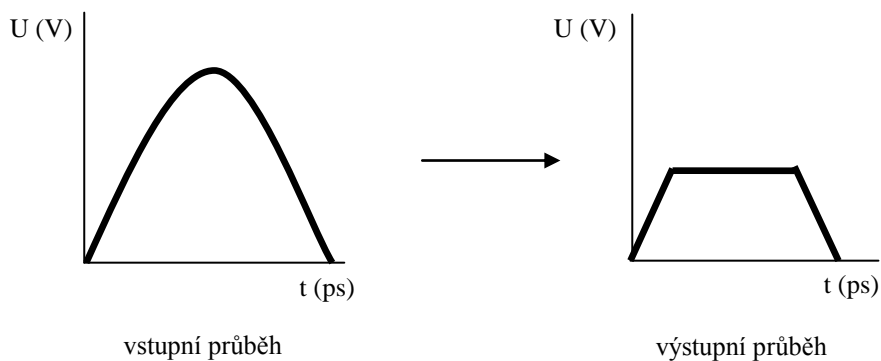
Varistory se vyznačují spojitou odezvou na přepětový impuls a nevyvolávají žádné následné proudy z elektrické sítě. Mohou pracovat bez problémů i ve stejnosměrných obvodech. Varistory nezkracují dobu trvání přepětové vlny a oproti jiskřišti mají podstatně menší schopnost svodu bleskových proudů. V silových sítích se uplatňují většinou v zařízeních ochrany před přepětím třídy SPD 2 a SPD 3. Ve slaboproudých rozvodech se s nimi lze setkat u zařízení ochrany před přepětím s nižší mezní frekvencí. U vysokorychlostních datových přenosů brání použití poměrně velká kapacita připojovacích elektrod. [10]

3.4 Součástky s polovodičovými přechody

V ochraně před přepětím se používají polovodičové součástky, jejichž voltampérová charakteristika je podobná závěrné části charakteristiky Zenerovy diody, avšak je symetrická. Jedná se obvykle o transily nebo supresorové diody, jejichž předností je velká strmost a spínací časy v řádu jednotek pikosekund. Tyto vlastnosti je předurčují pro použití především v zařízeních ochrany před přepětím rychlých datových přenosů. Jejich nedostatkem je naopak menší přípustná hodnota průchozího proudu, takže se nehodí k přímému svodu dílčích částí bleskových proudů. Proto jsou vhodné jen k ochraně před energeticky méně náročnými přepětovými impulsy s vrcholovou hodnotou řádu stovek ampér. Prvky s polovodičovými přechody se nepoužívají samostatně, ale ve spojení s bleskojistkami nebo varistory ve spojení přes sériové oddělovací impedance. [10]



Obrázek 19 Voltampérová charakteristika supresorové diody [10]



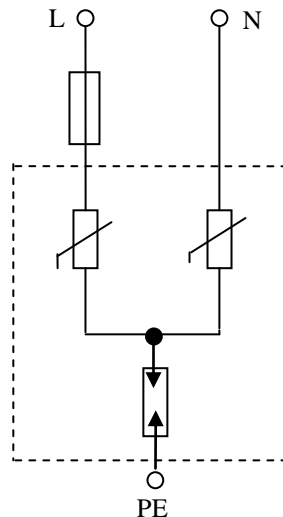
Obrázek 20 Omezující charakteristika supresorové diody [10]

3.5 Kombinace ochran před přepětím

Pro ochranu silových sítí nízkého napětí jsou vhodné sestavy jiskřišť a varistorů. Ve slaboproudých rozvodech se uplatní všechny tři prvky – bleskojistky, varistory, supresorové diody.

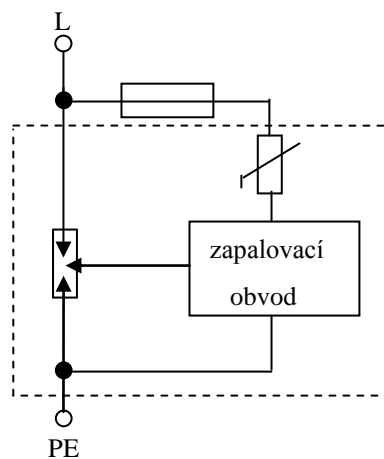
Silové sítě nízkého napětí

Nejčastější variantou zapojení kombinovaných zařízení ochrany před přepětím pro silové sítě nízkého napětí se sestává se sériového zapojení varistoru a jiskřiště nebo výkonové bleskojistky. Tato varianta s vestaveným jiskřištěm nebo výkonovou bleskojistkou zajišťuje v klidovém stavu vysoký izolační odpor mezi pracovními vodiči a uzemňovací soustavou. Vlastnost varistoru potlačí možnost vzniku následných proudů z napájecí sítě. Zapojení v tomto provedení se používá u stupňů ochrany 2 a 3. [10]



Obrázek 21 Vnitřní zapojení kombinovaného SPD třídy 2 nebo 3 [10]

U svodičů, které jsou konstruovány jako společné svodiče třídy 1+2 ve společném pouzdře, svod bleskových proudů zajišťuje jiskřiště s cizím buzením. Objeví-li se na svorkách takového přístroje strmý nárůst svorkového napětí o dostatečně velké vrcholové hodnotě, zapalovací obvod vytvoří v komoře jiskřiště slabý pomocný výboj, který poruší izolační pevnost vzduchové dielektrické vrstvy mezi výkonovými elektrodami. Varistor slouží k odvedení aktivačního impulsu a může plnit funkci svodiče třídy 2. [10]



Obrázek 22 Vnitřní zapojení kombinovaného SPD třídy 1+2 [10]

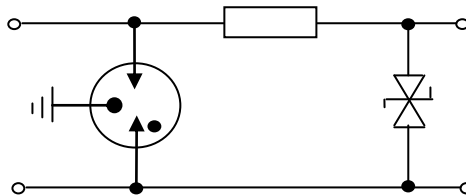
Pro slaboproudé rozvody

Slaboproudé rozvody můžeme rozdělit na:

- telekomunikační zařízení,
- datové sítě,
- radiokomunikační zařízení,

- systémy měření a regulace,
- zabezpečovací systémy.

Výhodou slaboproudých rozvodů oproti silovým je to, že mají podstatně větší impedanci propojovacích vodičů. Vyskytují se v nich proto přepět'ové impulsy s nižší úrovní a lze do nich dodatečně vložit malou podélnou (sériovou) impedanci. K ochraně zařízení připojených ke slaboproudým rozvodům postačují proto podstatně méně energeticky odolné ochranné prvky, jejichž vzájemnou součinnost lze zajistit pomocí odporu v podélné větvi. Výsledkem jsou vícestupňová zapojení zařízení ochrany před přepětím. [10]



Obrázek 23 Vícestupňové zapojení SPD pro slaboproudé rozvody [10]

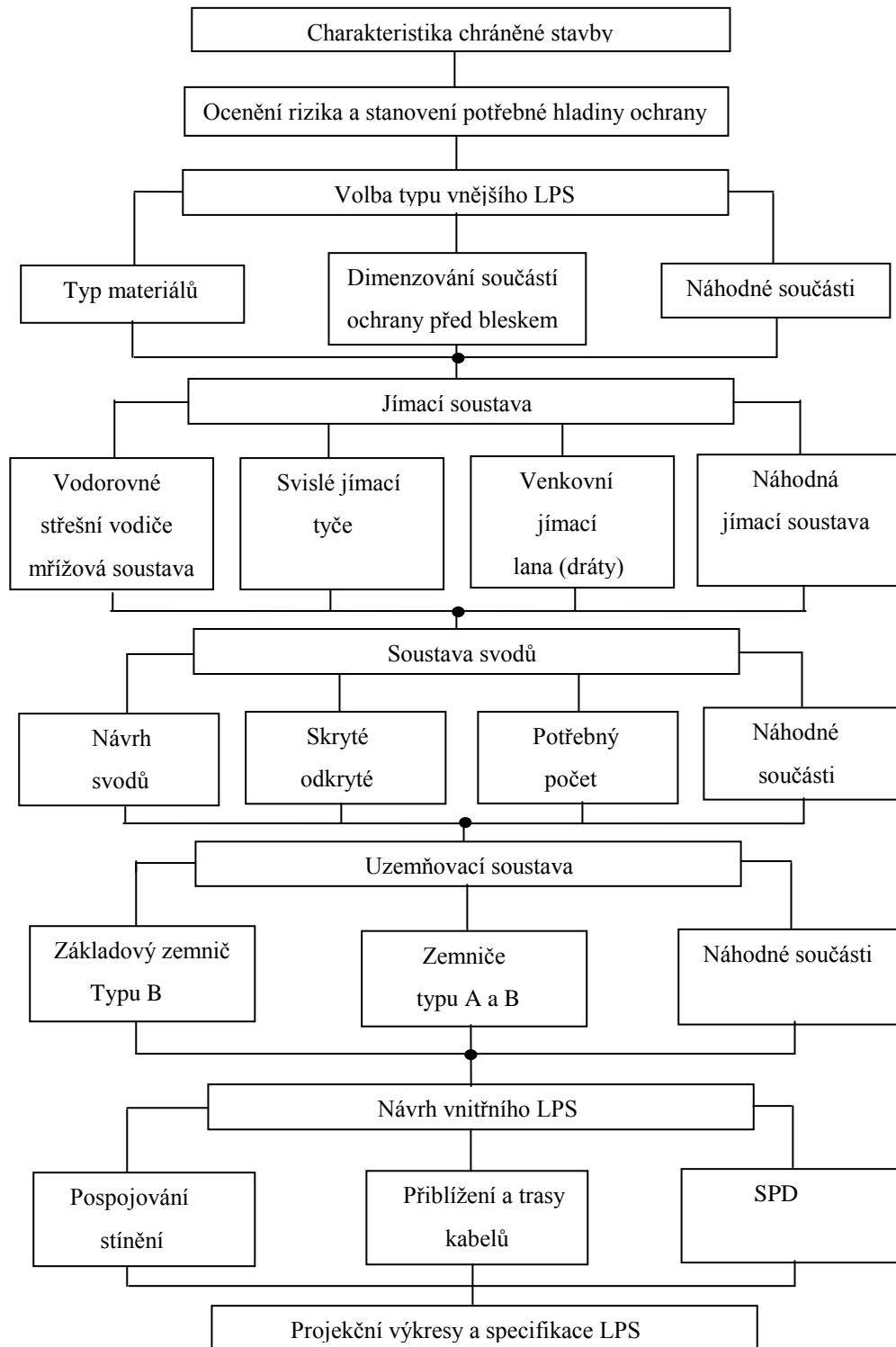
Základní ochranu před nežádoucími účinky dílčích částí bleskových proudů poskytuje výkonová bleskojistka. Její relativně dlouhá doba odezvy, ale nezaručuje dostatečné potlačení rychlých přepět'ových impulsů, takže je třeba použít ještě další ochranný stupeň osazený rychlou polovodičovou součástkou. Vzájemnou koordinaci obou stupňů zajišťuje podélná oddělovací impedance 1 až 15Ω. [10]

Dílčí závěr

Funkčnost technických prostředků k omezení přepětí můžeme dělit podle principů. Prvním principem jsou jiskřiště, která pracují na principu ionizace prostředí. Výhodou jiskřišť je velký vnitřní odpor při klidovém stavu. Dalším princip, který je využitý, jsou polovodiče. Jedním takovým polovodičovým prvkem je varistor. Varistor je napět'ově závislý odpor. Pro malá napětí je odpor varistoru velký, ale se vzrůstajícím napětím se odpor zmenšuje. Pro rychlé datové přenosy se používají přepět'ové ochranné zařízení ve kterých, jsou použity transily nebo supresorové diody. Tyto se používají ve spojení s bleskojistkami nebo varistory. V samotných ochranných zařízeních proti přepětí se používá kombinace všech tří principů. Dále můžeme přepět'ové ochranné zařízení rozdělit dle způsobu použití. Zde jsou ochranné zařízení v provedení pro napájecí síť nn (do 1000 V), pro informačně-technické síť a jako oddělovací jiskřiště.

4 NÁVRH OCHRANY PROTI PŘEPĚTÍ

Návrh ochrany proti účinkům přepětí bude proveden na dvoupodlažní kancelářské budově.



- - Rozhraní, které vyžaduje plnou spolupráci architekta, inženýra a projektanta před bleskem.

Obrázek 24 Vývojový diagram návrhu systému LPS [5]

Návrh byl vybrán s ohledem na to, že se jedná o budovu, která se má teprve vybudovat. V návrhu budou uplatněny postupy dle vývojového diagramu LPS, který doporučuje norma ČSN EN 62305 -3 ed.2 Vývojový diagram doporučuje provést:

1. charakteristiku chráněné stavby
2. ocenění rizika a stanovení potřebné hladiny ochrany
3. volba vnějšího LPS (jímací soustava, soustava svodů, uzemňovací soustava)
4. návrh vnitřního LPS

4.1 Charakteristika chráněné stavby

V charakteristice stavby jsou uvedeny informace, které budou sloužit pro návrh ochrany před účinky přepětí.

- Rozměry

Délka 10 m, šířka 10 m, výška 12 m.

- Typ stavby

Dvoupodlažní kancelářská budova.

- Venkovní plášť

Obvodový plášť je tvořen cihlovým zdívem pokryté z venkovní strany minerální izolací o tloušťce 100 mm. Rovná střecha je pokryta lepenkovou krytinou.

- Okolí stavby

Z jižní strany se nachází betonové parkoviště. Se severní strany se nachází travnatá plocha. Místo Zlín, okolí není zastavěno.

- Inženýrské sítě vstupující do budovy:

- kabelová přípojka NN AYKY 4 x 50 mm²,
- telefonní přípojka,
- vodovodní přípojka,
- potrubí dálkového vytápění.

- Rozložení rozvaděčů NN a slaboproudů:

V 1. pp se nachází hlavní rozvaděč budovy z, kterého jsou dále napájeny rozvaděče EPS, PZTS a MaR. Dále je z tohoto rozvaděče napájen podružný rozvaděč NN v 1.np.

4.2 Ocenění rizika a stanovení třídy LPS

Při ocenění rizika a stanovení potřebné hladiny ochrany před bleskem byl použit výpočetní program Prozik 1.03 od firmy OEA s.r.o. Letohrad.

Obrázek 25 Zadávací okno Prozik1.03 [13]

Analyzovaná budova pro výpočet rizika - kanceláře

Sběrná plocha byla vypočítána z rozměrů budovy:

$$\text{délka } L_b = 10 \text{ m}$$

$$\text{šířka } W_b = 10 \text{ m} \quad A_{d/b} = 5\,611.5 \text{ m}^2 \quad (\text{pro úderý do stavby})$$

$$\text{výška } H_b = 12 \text{ m} \quad A_m = 206\,449.54 \text{ m}^2 \quad (\text{pro úderý v blízkosti stavby})$$

Stavba je chráněná pomocí LPS III.

Hustota úderů blesků do země je stanovena na 2.81 na km² za rok.

Stavba je situována jako: osamocený objekt, žádné objekty v sousedství.

V okolí budovy se nenacházejí žádné sousední budovy.

Silnoproudá elektrická vedení:

Vedení 1

Sekce 1

Typ vedení v sekci: kabelová (podzemní)

měrný odpor půdy..... 500 Ohm. m

délka sekce vedení..... 1 000 m

Sběrná oblast pro připojenou síť (Sekce 1) sítě:

$A_1 = 21\,556\text{ m}^2$ (úderý zasahující síť)

$A_i = 559\,017\text{ m}^2$ (úderý do země v blízkosti sítě)

Sekce je definována jako: osamocená síť, žádné objekty v sousedství.

Prostředí je definováno jako: městské (výška budov větší mezi 10 m a 20 m).

K vedení je připojeno zařízení:

Zařízení 1

- Impulsní výdržné napětí chráněného systému $U_w = 2,5\text{ kV}$
- Použité vnitřní vedení: nestíněný kabel
- žádné opatření při trasování, pro vyloučení velkých smyček (plocha smyčky řádu 50 m²)
- Použita koordinovaná ochrana kategorie LPL III
- Vnitřní systémy vyhovují odolností a hladinou výdržných napětí uvedenou v příslušných předmětových normách.
- Byla provedena koordinovaná ochrana splňující IEC 62305-4.
- Pro ekvipotenciální pospojování byla použita SPD podle IEC 62305-3.

Telekomunikační vedení:

Vedení 1

Sekce 1

Typ vedení v sekci: kabelová (podzemní)

měrný odpor půdy..... 500 Ohm. m

délka sekce vedení..... 1 000 m

Sběrná oblast pro připojenou síť (Sekce 1) sítě:

$A_1 = 21\,556\text{ m}^2$ (úderý zasahující síť)

$A_i = 559\,017\text{ m}^2$ (úderý do země v blízkosti sítě)

Sekce je definována jako: síť obklopena objekty nebo stromy stejné výšky nebo nižšími než síť.

Prostředí je definováno jako: městské (výška budov větší mezi 10 m a 20 m).

Tabulka 15 Výpočet rizik [13]

Součásti rizika (hodnoty 10^{-5})

	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z	Celk. riziko	Příp. h.
—										
R_1	0	0.055	0	0	0	0.055	0	0	0.11	1
R_2	---	0	0	0	---	0	0	0	0	100
R_3	---	0.158	---	---	---	0	---	---	0.158	100
R_4	0	1.103	0.473	16.921	0	1.09	1.816	2.894	24.297	100
—										
R_D	0	0.055	0	---	---	---	---	---	0.055	
R_I	---	---	---	0	0	0.055	0	0	0.055	
R_S	0	---	---	---	0	---	---	---	0	
R_F	---	0.055	---	---	---	0.055	---	---	0.11	
R_O	---	---	0	0	---	---	0	0	0	

Uvažovány ztráty na zvířatech.

Uvažováno riziko úrazu živých bytostí způsobené dotykovými a krokovými napětími.

Všechna vypočtená rizika jsou nižší než nastavené přípustné hodnoty. Stavba je dostatečně chráněna proti přepětí způsobenému úderem blesku.

4.3 Volba vnějšího systému ochrany před bleskem

Vnější systém ochrany před bleskem bude tvořen:

- jímací soustavou,
- soustavou svodů,
- uzemňovací soustavou.

Na budově bude použit izolovaný vnější systém ochrany před bleskem. Vnější systém bude dále propojen s vodivými částmi stavby jen na úrovni terénu. Vodivé zařízení nacházející se uvnitř stavby a elektrické vodiče budou vzdáleny od vnějšího systému ochrany před bleskem v dostatečné vzdálenosti.

4.3.1 Jímací soustava

Jedná se o plochou střechu, na které nebudou umístěné žádné technologické zařízení. Proto bude zvolena mřížová jímací soustava. Velikost ok ve třídě ochrany III činí 15 x 15 m. Vodiče jímací soustavy budou umístěny na okrajích střechy. Uprostřed bude provedeno spojení krajních vodičů. Vodiče budou FeZn průměru 8 mm uloženy na podpěrách.



Obrázek 26 Plastová podpěra FB2 Ocenění rizika a stanovení třídy LPS [14]

Vzdálenost podpěr bude 1500 mm. Spojení vodičů jímací soustavy bude provedeno pomocí paralelních svorek a křížových svorek. Náhodných jímačů nebude použito. V rozích budovy bude jímací soustava propojena se svody a dále s uzemňovací soustavou objektu.

4.3.2 Soustava svodů

U stavby nebude využito žádných náhodných svodů. Nebudou použity ani skryté svody. Svody budou instalovány přímo a svisle, aby bylo vytvořeno co nejkratší přímé spojení ze zemí. Svody budou vyvedeny v rozích budovy. Vodiče budou FeZn průměru 8 mm uloženy na podpěrách.

Počet svodů se určí dle tabulky 11.

$$\text{Počet svodů} = \text{Obvod budovy} / \text{vzdálenost mezi svody}$$

$$\text{Počet svodů} = 40 / 15$$

$$\text{Počet svodů} = 2,6 \text{ ks} = 3 \text{ ks}$$

Po výpočtu vychází tři svody. Kvůli rovnoměrnému rozvržení bleskového proudu a architektonickému rozložení doporučuji rozšířit počet svodů na čtyři.

Svody budou připojeny na jímací soustavu pomocí svorky paralelní FeZn na střeše objektu. Svod bude tvořen drátem FeZn průměru 8mm. Svody budou uchyceny na vnější straně budovy pomocí podpěr vedení s příchýtkou do zateplených zdí. Vzdálenost vedení od stěny bude 100mm. Podpěry budou od sebe vzdáleny 1000 mm. Svod bude napojen na uzemňovací soustavu pomocí zkušební svorky, která bude umístěna 1200 mm nad terénem. Každý svod bude očíslován.



Obrázek 27 Zkušební svorka [14]



Obrázek 28 Číselný štítek [14]



Obrázek 29 Svorka paralelní [14]



Obrázek 30 Podpěra vedení s příchýtkou [14]

Elektrické izolace mezi jímací soustavou, svody a kovovými částmi stavby, kovovými instalacemi, vnitřními systémy bude dosaženo dostatečnou vzdáleností s .

$$s = k_i / k_m \times k_c \times l \text{ (m)} [5]$$

k_i - 0,04 dle tab. 11

k_m - 0,5 dle tab. 12

$k_c = 1/2n + 0,1 + 0,2 \times (c/h)^{1/3}$ [5]

l - 12 m

n - počet svodů

c - vzdálenost mezi svody

h - výška

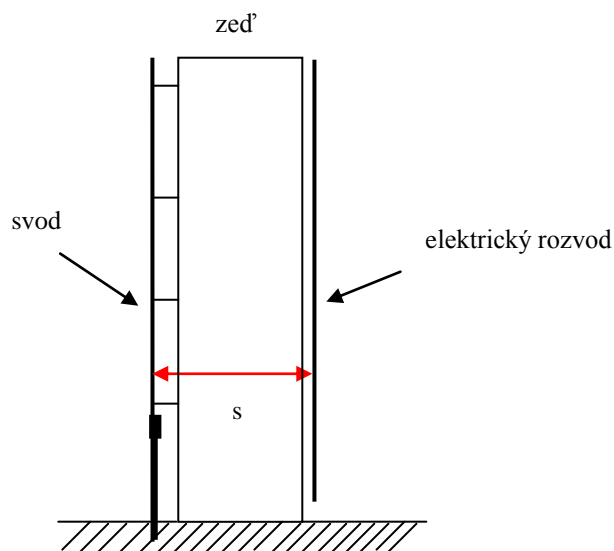
$$k_c = 1/2 \times 4 + 0,1 + 0,2 \times (10/12)^{1/3}$$

$$k_c = 0,413$$

$$s = 0,04 / 0,5 \times 0,413 \times 12$$

$$s = 0,39 \text{ m}$$

Vzdálenost mezi jímací soustavou nebo svody a vnitřními systémy by neměla být menší než 0,39 m.



Obrázek 31 Dostatečná vzdálenost

4.3.3 Uzemňovací soustava

Bude použit zemnič typu B. Zemnič, bude uložen v základu objektu, cca 5cm nad dnem výkopu, nejlépe na distančním držáku, aby byl obklopen betonovou směsí. Bude vyveden dostatečný počet připojovacích bodů pro napojení přípojníc potenciálového vyrovnání a svodů systémů vnější ochrany před bleskem. Uzemňovací přívody budou v zemi spojeny s páskem FeZn pomocí křížové svorky. Vyvedené připojovací body budou opatřeny

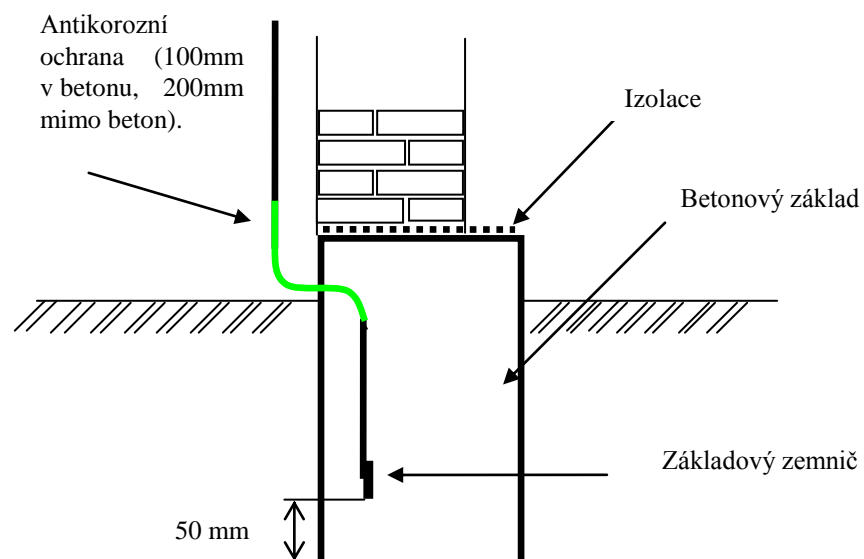
protikorozním nátěrem. Přívody od základových zemničů se budou chránit při přechodu z betonu do země 30cm v betonu a 100cm v zemi a na přechodu z betonu na povrch 10 cm v betonu a 20 cm nad povrchem. Materiál pro uzemnění:

1. zemnič – FeZn pásek 30 x 4 mm
2. vývod pro připojení FeZn drát o průměru 10 mm

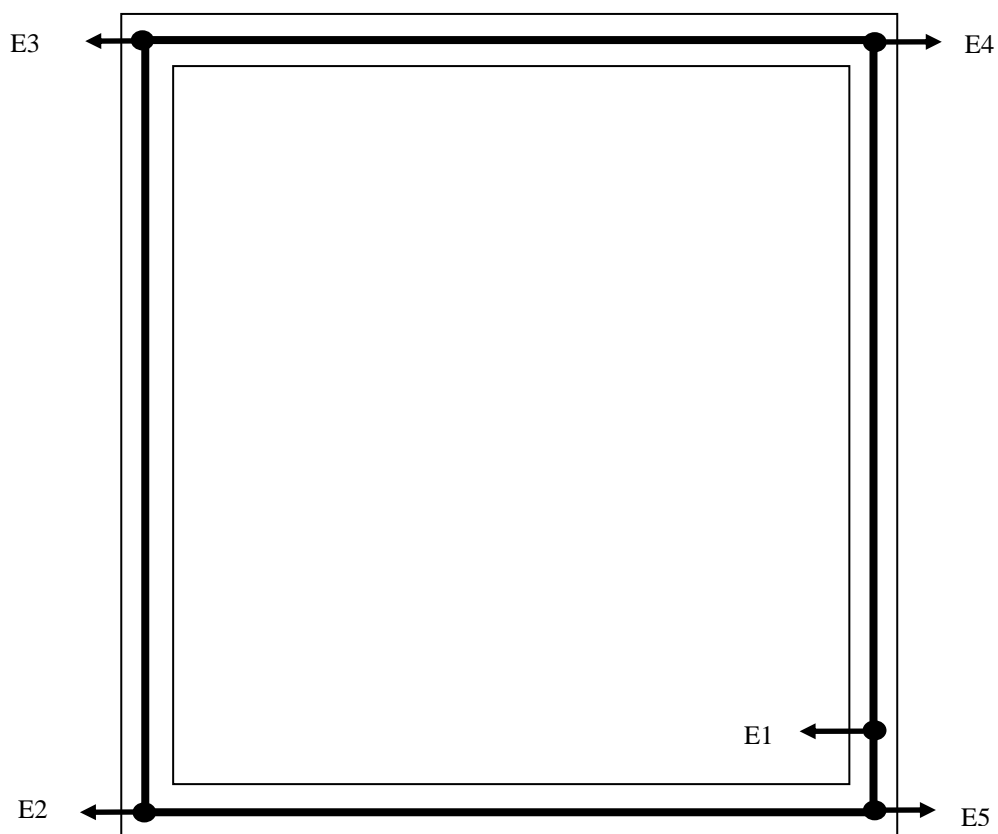


Obrázek 32 Distanční držák pásku FeZn [14]

V případě, že bude dodržena hodnota zemního odporu uzemňovací soustavy menší než 10 Ω , nemusí být dodržen minimální rozměr uzemnění. Před zabetonováním zemničího pásku bude provedena kontrola revizním technikem.

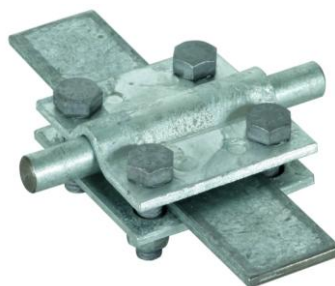


Obrázek 33 Základový zemnič



Obrázek 34 Vyvedení uzemňovacích přívodů pásového základu

E1- svorkovnice ekvipotenciálního pospojování, E2,E3,E4,E5 - připojení svodu hromosvodu



Obrázek 35 Křížová svorka [14]

4.4 Návrh vnitřního LPS

Návrh vnitřního LPS řeší:

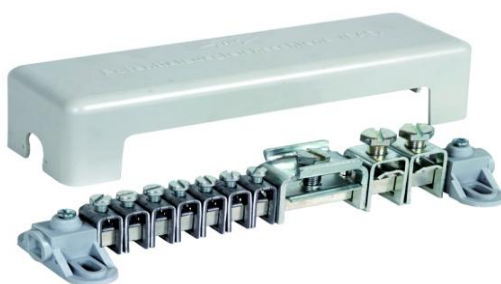
- pospojování,
- koordinovanou SPD ochranu.

4.4.1 Pospojování

Do pospojování budou zahrnuty všechny kovové části vstupující do budovy. Elektrické a informačně technické sítě vstupující do objektu budou spojeny přes SPD. Spojeny budou na hlavní ekvipotenciální svorkovnici, která bude spojena se základovým zemničtem:

- vodovodní potrubí,
- odpadní potrubí,
- VZT a klimatizace,
- stínění telekomunikačního kabelu,
- vodič PEN nebo PE hlavního přívodu nn.

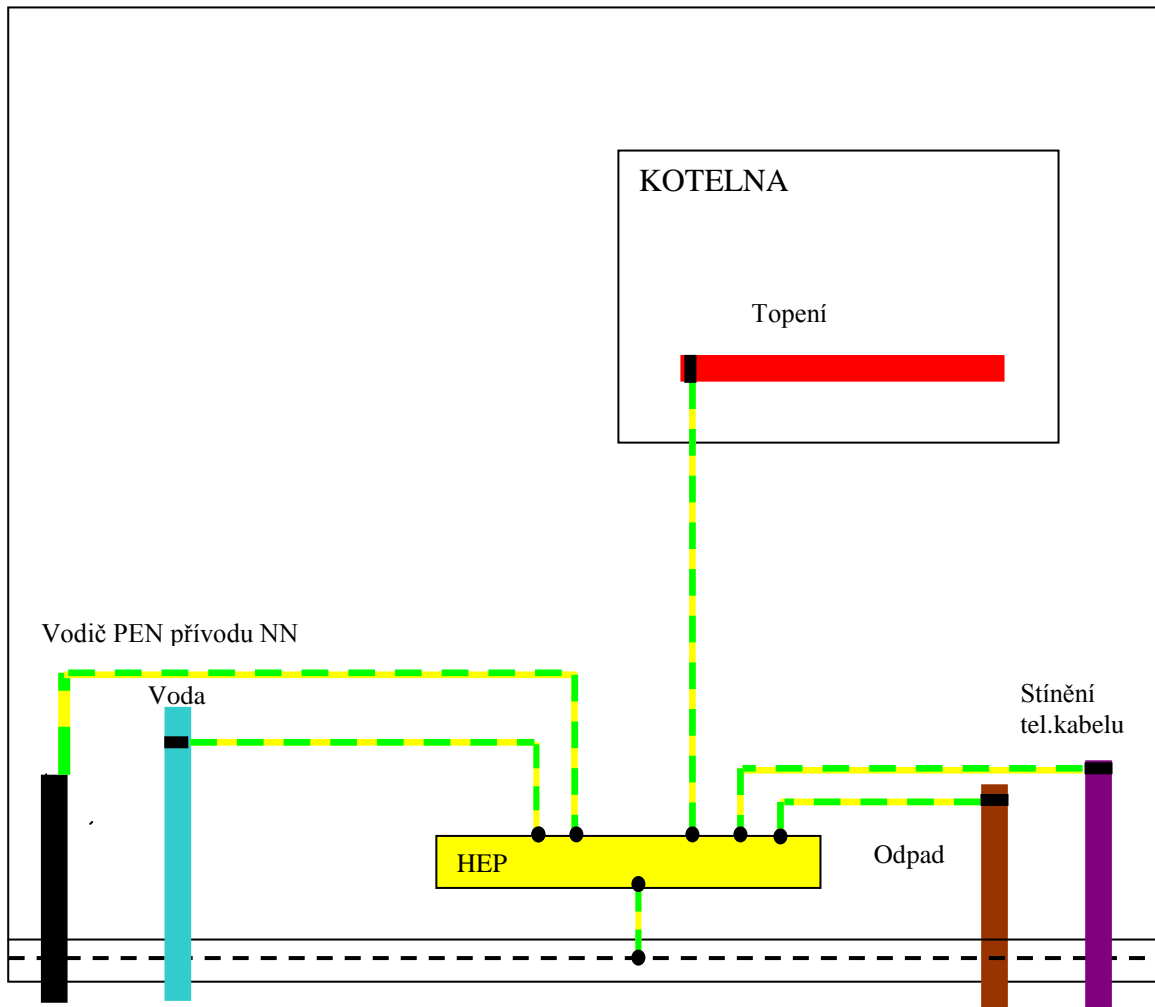
Pokud budou uvnitř chráněného objektu vloženy v potrubí plynu a vody izolační kusy, musí být přemostěny přepět'ovými ochranami na základě provozních předpisů distribučních firem.



Obrázek 36 Ekvipotenciální svorkovnice R15 [14]

Minimální rozměr vodičů spojující různé přípojnice pospojování nebo přípojnice pospojování s uzemňovací soustavou bude u Cu 14 mm² a u ocele 50 mm².

Minimální rozměr vodičů spojující vnitřní kovové instalace a přípojnice pospojování bude u Cu 5 mm² a u ocele 16 mm².



Obrázek 37 Vyrovnání potenciálu pro vnější vodivé části

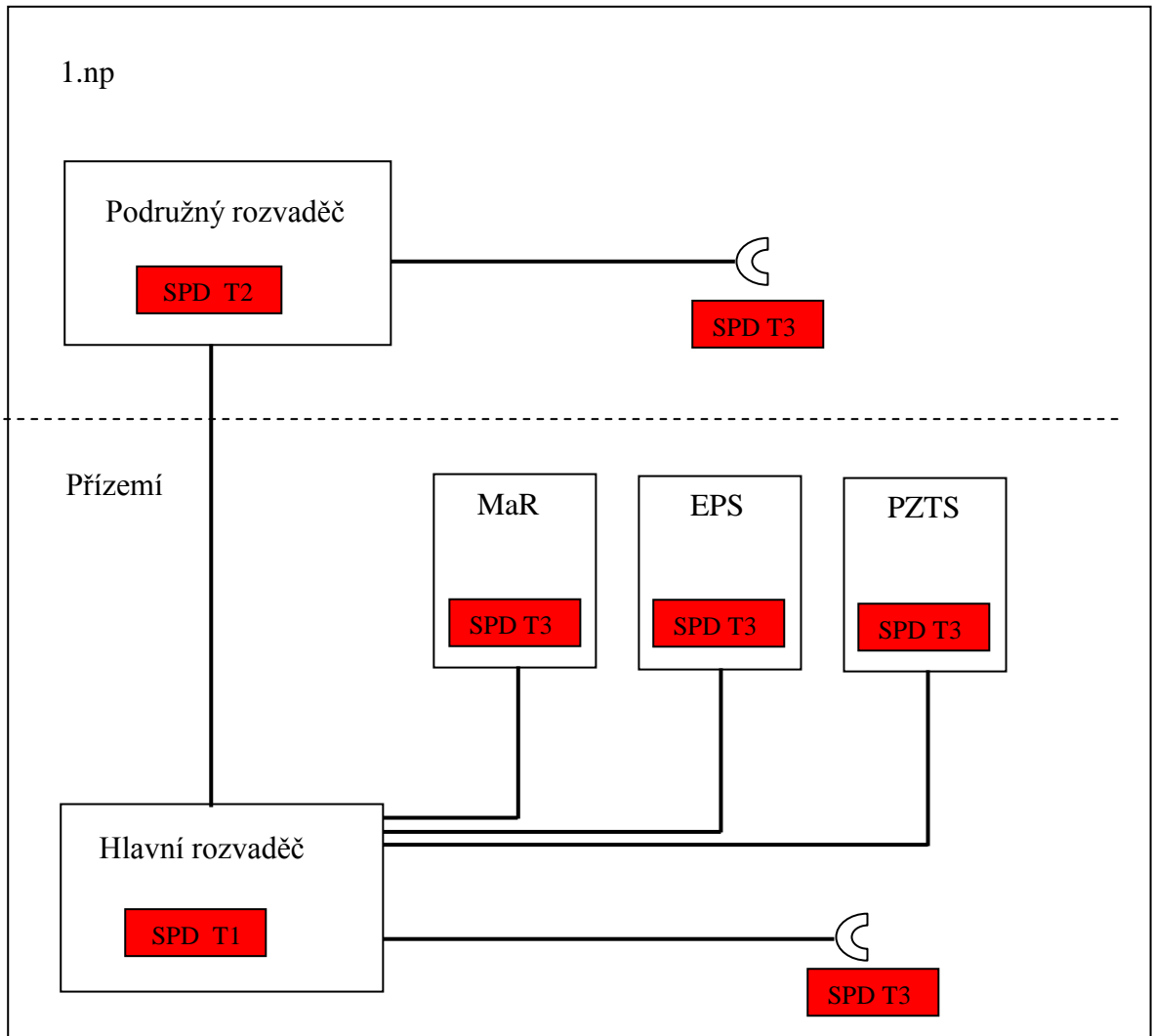
4.4.2 SPD

Koordinovaná ochrana pomocí přepětových ochranných zařízení SPD bude provedena na napájecím vedení nn 230/400V a na informačně-technických sítích.

Je navrženo ochranné přepětové zařízení firmy DEHN.

- **SPD T1** označení SPD pro napájecí vedení nn 230/400V,
- **SPD T1** označení SPD pro informačně-technické sítě.

Jednotlivé SPD typu 1a 2 budou umístěny v příslušných rozvaděčích. SPD 3 u zásuvek 230V bude vmontováno do elektroinstalační krabice zásuvky. SPD u informačně-technické sítě bude uzemněno přes montážní lištu TS 35 v rozvaděči.



Obrázek 38 Topologie rozváděčů nn v budově

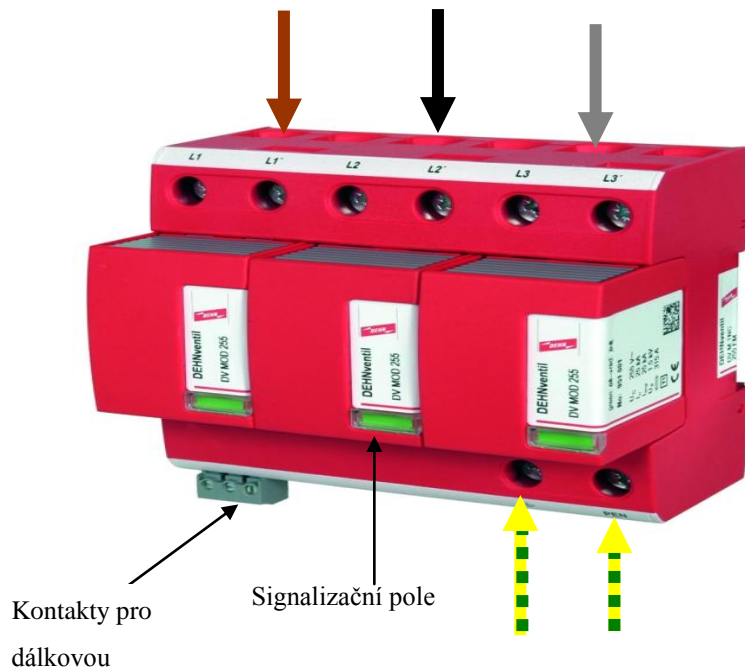
Ochrana proti přepětí v hlavním rozvaděči NN

Ochrana proti přepětí v hlavním rozvaděči (HR) je tvořena kombinovaným svodičem s typovým označením DENHventil M TNC (FM).

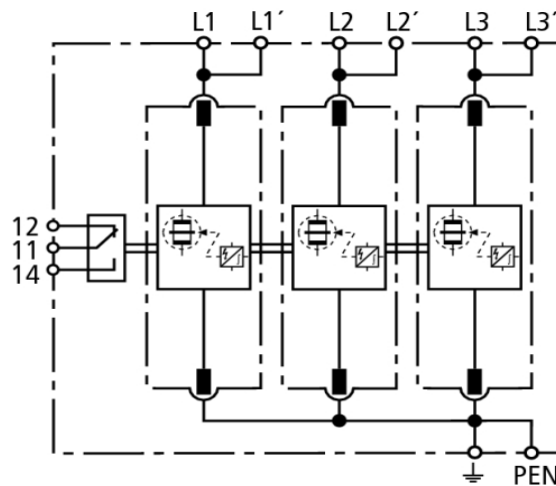
DENHventil M TNC (FM) je:

- zkoordinovaný svodič typ 1 dle ČSN EN 61643-11,
- svodič bleskových proudů a přepětí v jednom pouzdře s propustností pro vlny bleskového proudu až 100 kA (10/350 μ s),
- jiskřiště RADAX – Flow,
- ochranná úroveň $U_P \leq 1,5$ kV,
- $I_{mp} - 25$ kA,
- dálková signalizace,

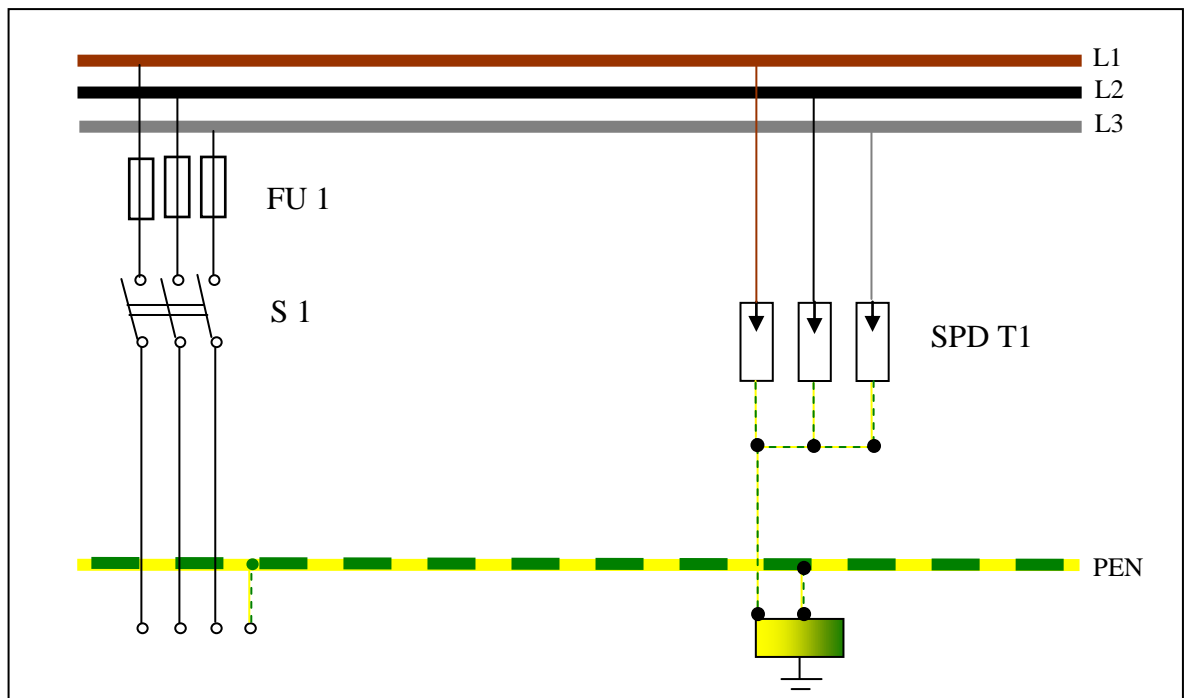
- signalizační pole (zelená ON, červená OFF),
- určen k montáži na rozhraní zón LPZ 0_A – 2.



Obrázek 39 Kombinovaný svodič – typ 1 [14]



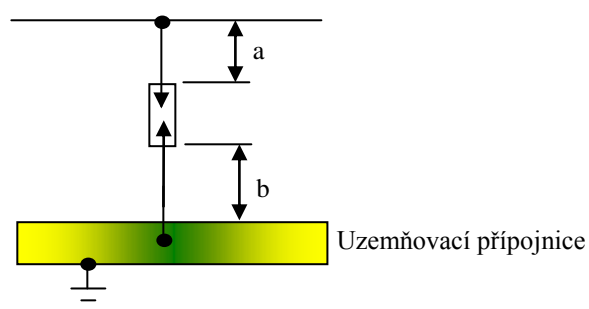
Obrázek 40 Vnitřní zapojení kombinovaného svodiče – typ 1 [14]



Obrázek 41 Zapojení kombinovaného svodiče v hlavním rozvaděči

Délka přívodních vodičů ke svodiči napětí v hlavním rozvaděči dle ČSN EN 33 2000-5-534 se doporučuje, aby délka přívodních vodičů ($a + b$) v součtu nepřekročila 0,5m, a zároveň tato délka nesmí překročit 1m.

Přívod a odvod ze svodiče bude proveden vodiči CYA o průřezu 16 mm^2 .



Obrázek 42 Vzdálenost přívodních vodičů na přepět'ové ochranné zařízení [8]

Koncová elektrická zařízení napájená z hlavního rozvaděče o délce vodiče do 5 m díky ochranné úrovni 1,5kV kombinovaného přepět'ového ochranného zařízení se nemusí chránit přepět'ovým ochranným zařízením. Pokud bude chráněné zařízení dále jak 5m je nutné použít k ochraně před předpětím SPD typ 3.

Ochrana proti přepětí v podružném rozvaděči NN

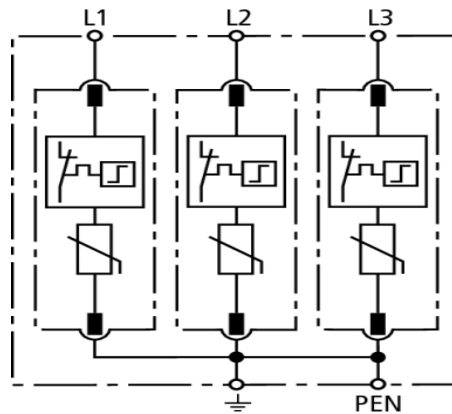
Tento rozvaděč bude osazen v 1.np administrativní budovy. Ochrana proti přepětí v podružném rozvaděči bude tvořena přepět'ovým ochranným zařízením typu 2, s typovým označením DENHguard M TNC 275 (FM).

DENHguard M TNC 275(FM) je:

- klasifikován jako SPD typ 2 dle ČSN EN 61643-11,
- SPD bleskových proudů a přepětí v jednom pouzdře s propustností pro vlny bleskového proudu až 100 kA (10/350 μ s),
- moduly osazené výkonovými varistory ZnO
- odpojovací zařízení ThermoDynamic-Control s dvojitou kontrolou
- ochranná úroveň $U_P \leq 1,25$ kV,
- $I_{mp} - 12$ kA,
- dálková signalizace,
- signalizační pole (zelená ON, červená OFF),
- určen k montáži na rozhraní zón LPZ $0_B - 1$.



Obrázek 43 DENHguard M TNC 275(FM) [14]



Obrázek 44 Vnitřní zapojení DENHguard M TNC 275(FM) [14]

Ochrana proti přepětí v rozvaděči měření a regulace

Tento rozvaděč je umístěn ve výměňkové stanici a je osazen řídicím systémem.

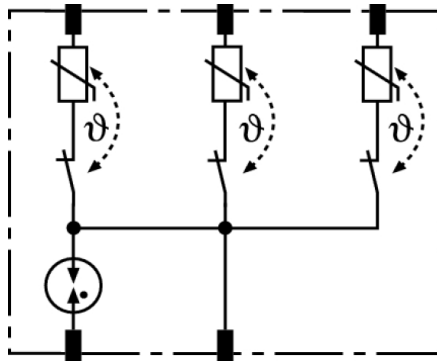
Ochrana proti přepětí bude provedena přepětiovým ochranným zařízením typu 3 s typovým označením DEHNrail M4P 255.

DEHNrail M4P 255:

- je klasifikován jako SPD typ 3 dle ČSN EN 61643-11,
- základní prvek tvoří kombinace výkonového varistoru ZnO a jiskřiště s velkou schopností odvést impulsní proud,
- stav ochrany je signalizován signalizačním polem



Obrázek 45 DEHNrail M4P 255 [14]



Obrázek 46 Vnitřní zapojení DEHNrail M4P 255 [14]

Rozvaděče EPS a PZTS

Tyto rozvaděče budou umístěny v technické místnosti (č.m.102) objektu.

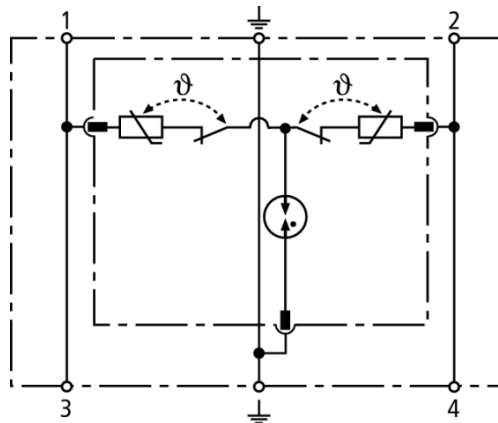
Oba dva budou vybaveny ochranným přepětovým zařízením typu 3 s typovým označením DEHNrail M2P 255.

DEHNrail M2P 255:

- je klasifikován jako SPD typ 3 dle ČSN EN 61643-11,
- základní prvek tvoří kombinace výkonového varistoru ZnO a jiskřiště s velkou schopností odvést impulsní proud,
- stav ochrany je signalizován signalizačním polem



Obrázek 47 DEHNrail M2P 255 [14]



Obrázek 48 Vnitřní zapojení DEHNrail M2P 255 [14]

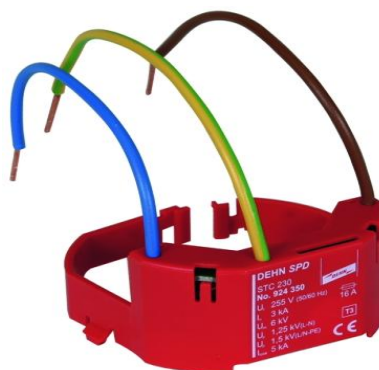
Zásuvkové obvody 230 V

Zásuvkové vývody, které jsou instalovány do 5 metrů od hlavního rozvaděče nebo od podružného nemusí být vybaveny přepět'ovým ochranným zařízením 3. stupně. Ostatní zásuvkové vývody budou opatřeny přepět'ovým ochranným přepět'ovým zařízením.

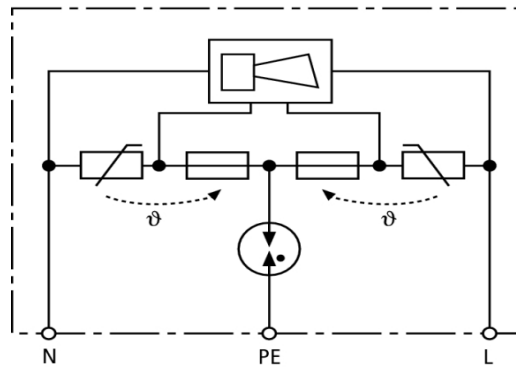
Bude použito modulů STC 230.

Modul STC 230 V:

- dle ČSN EN 61643-11 svodičem typu 3,
- akustická signalizace,
- uzpůsobení k montáži do elektroinstalačních krabic nezávisle na designu zásuvky,
- $U_c - 255V$,
- $I_N - 5 kA$.



Obrázek 49 Modul STC 230 [14]



Obrázek 50 Vnitřní zapojení modulu STC 230 [14]

Ochrana telekomunikačního přívodu do budovy

Do budovy je přiveden telekomunikační kabel, který je chráněn přepět'ovým ochranným zařízením. Dále kabel pokračuje do serverovny kde je napojen přes druhý přepět'ový ochranný stupeň do ústředny.

První přepět'ový ochranný stupeň je Blitzductor XT ML 2BE pro připojení dvojvodičového přívodu. Blitzductor slouží k ochraně informačně – technických systémů.

Blitzductor BXT ML 2BE :

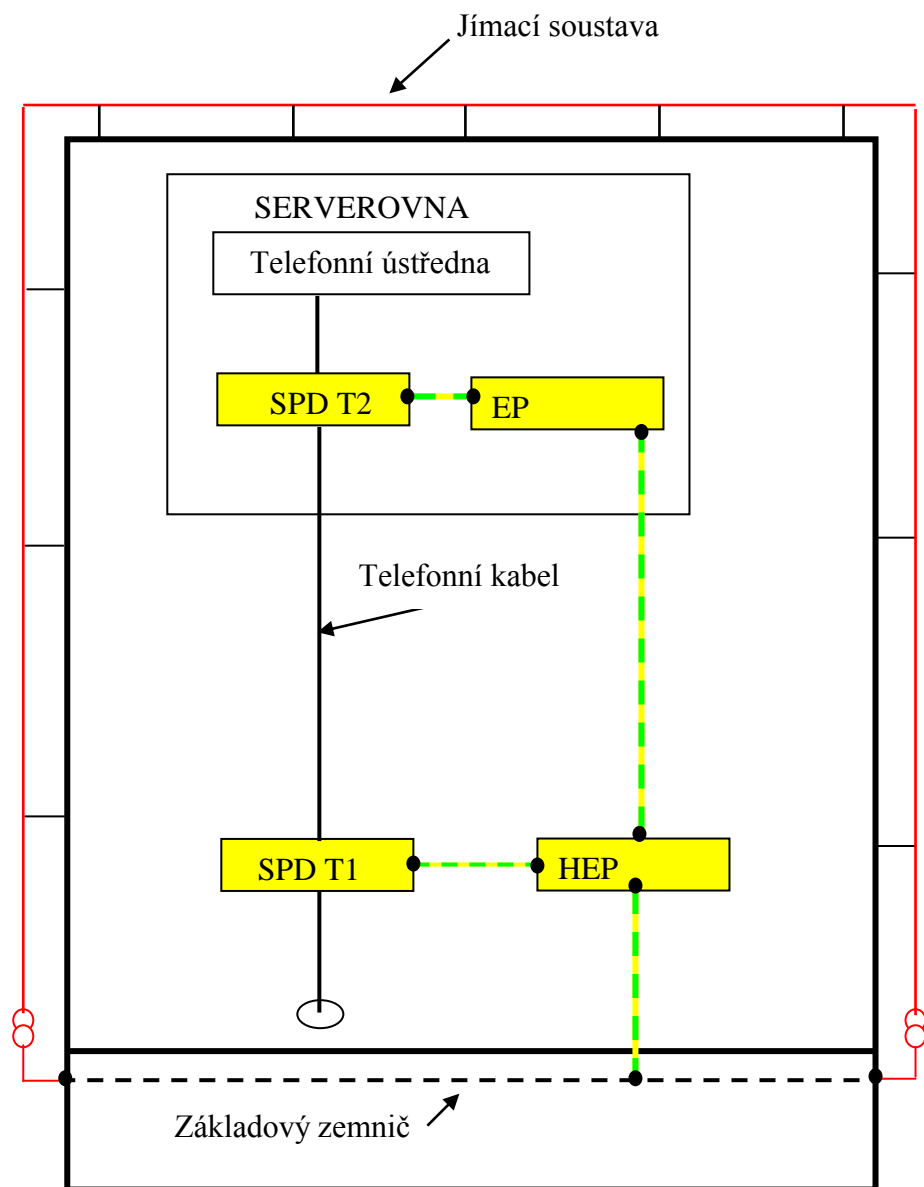
- SPD typu 1,
- zkušební impulsní proud (10/350) $I_{imp} - 9 \text{ kA}$,
- vestavený komunikační čip LifeCheck,
- instalace přes patičky na uzemněnou montážní lištu,
- při vyjmutí nebo zastrčení modulů nedochází k přerušení provozního signálu.



Obrázek 51 Modul BXT ML 2 BE [14]



Obrázek 52 Patice BXT BAS [14]

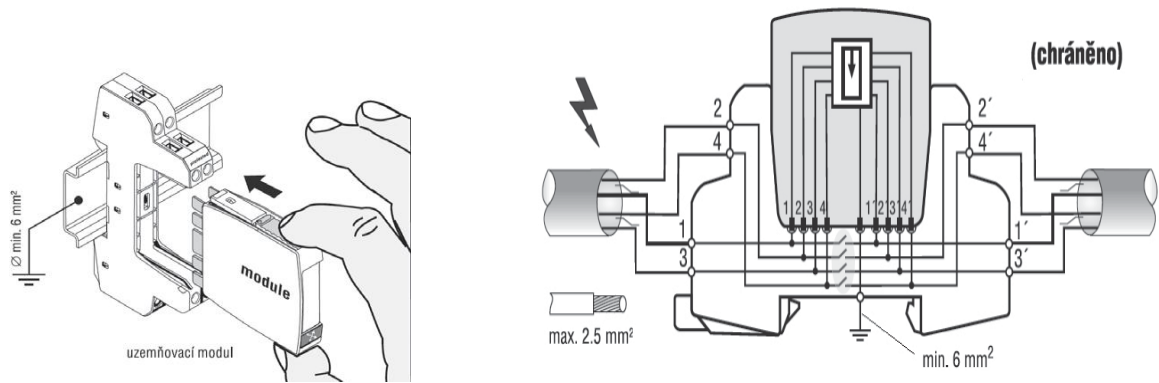


Obrázek 53 Pospojování telekomunikačního kabelu

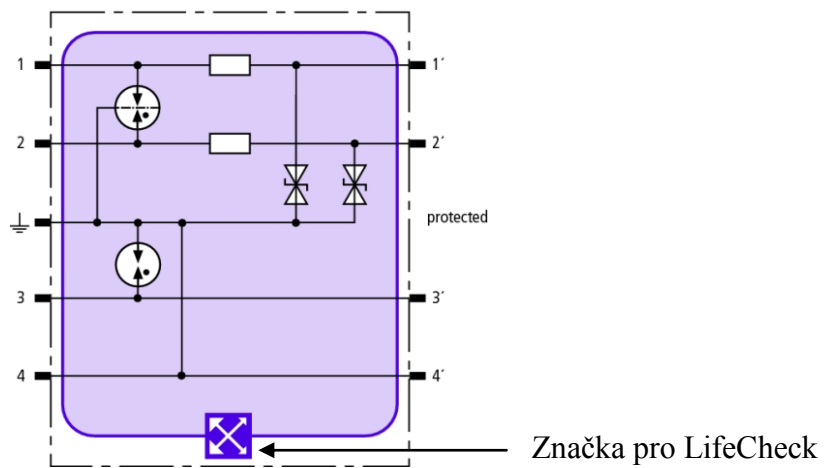
HEP – hlavní ekvipotenciální přípojnice

SPD T1 – přepět'ové ochranné zařízení třídy 1

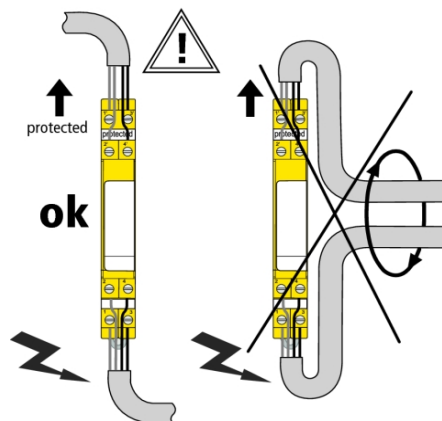
SPD T2 – přepět'ové ochranné zařízení třídy 2



Obrázek 54 Montáž Blitzductoru XT [14]



Obrázek 55 Vnitřní zapojení modulu BXT ML 2 BE [14]



Obrázek 56 Doporučené připojení kabeláže [14]

LifeCheck: umožňuje snadnou, rychlou a trvalou kontrolu přepět'ových ochranných zařízení Blitzductor XT bez nutnosti jejich demontáže. Využívá moderní technologii RFID (Radio Frequency Identifikation) ke kontrole ochranných obvodů a ke komunikaci s nimi. S pomocí přenosného přístroje nebo prostřednictvím modulu pro trvalé sledování stavu umožňuje rychlou a snadnou kontrolu SPD.

Diagnostický systém LifeCheck tvoří:

1. Čtecí a signalizační jednotka RFID (tester)

Elektronické obvody vysílají energii do transpondéru RFDI integrovaného v ochranném modulu SPD a odečítají data odezvy.

2. Kontrolní jednotka integrovaná ve svodiči

Kontrolní jednotka propojuje třístupňový kontrolní obvod LifeCheck s komunikačními obvody transpondéru RFID. Předávány jsou následující informace:

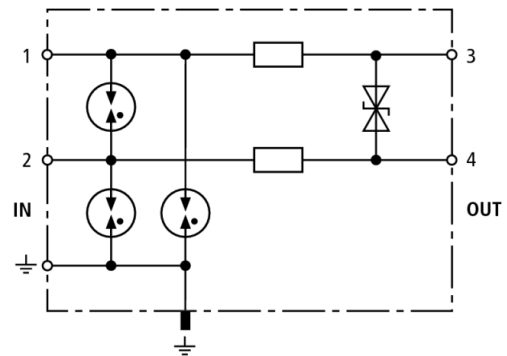
- diagnostika elektrického přetížení (impulsním proudem),
- diagnostika tepelného přetížení (přehřátí) [6]

Druhý přepět'ový ochranný stupeň tvoří Dehnconnect RK MD 110.

- SPD typu 2,
- maximální přípustné trvalé napětí DC U_C 170V,
- jmenovitý proud I_L 0,5A,
- celkový jmenovitý impulsní proud (8/20) I_N 10 kA.

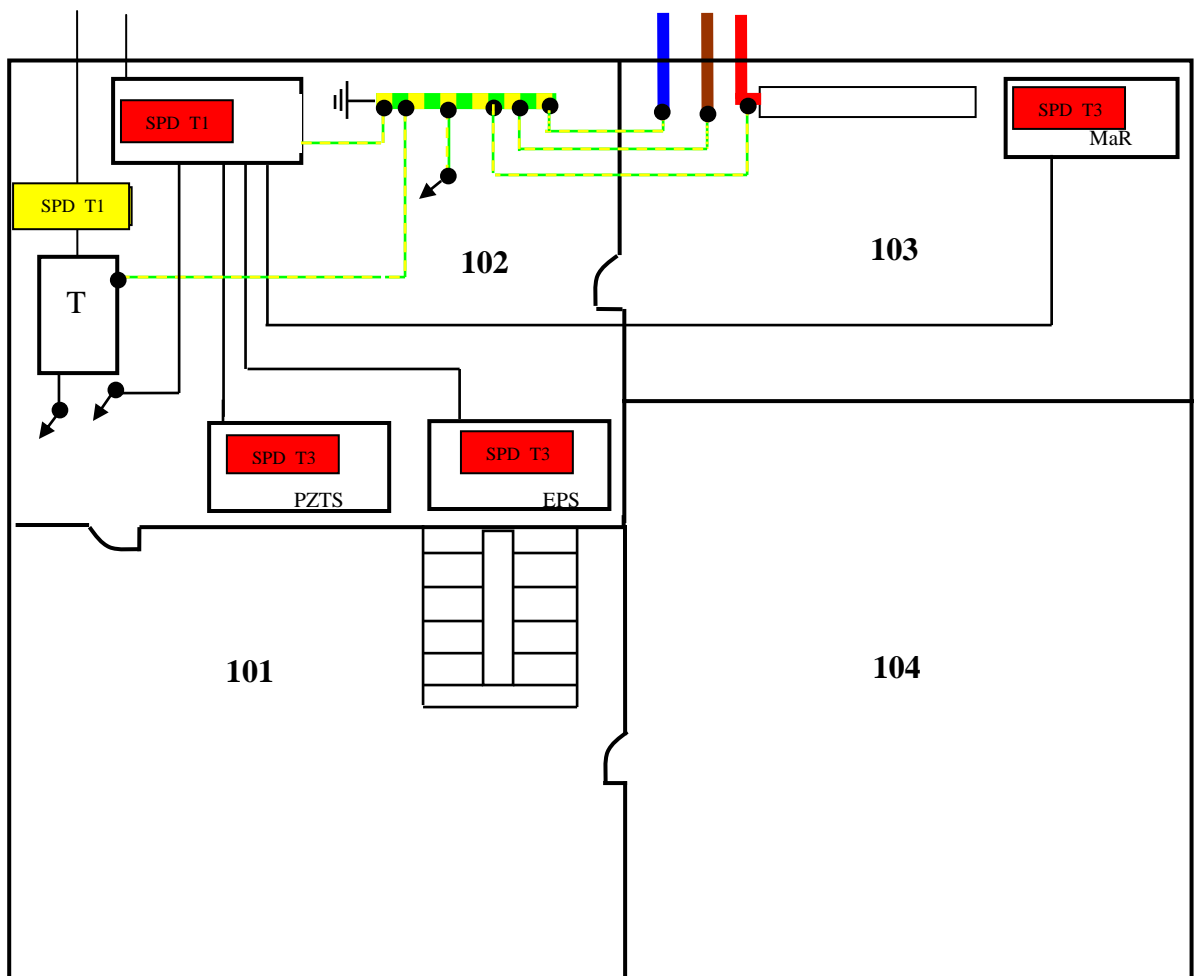


Obrázek 57 RK MD 110 [14]



Obrázek 58 Vnitřní zapojení RK MD 110 [14]


4.5 Půdorys




Obrázek 59 Půdorys 1.np

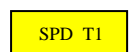
Legenda:


HR – Hlavní rozvaděč, T – Připojení telekomunikačního kabelu, MaR – měření a regulace,
 PZTS – poplachový zabezpečovací a tísňový systém, EPS – elektrická požární signalizace.


 - přívod studené vody

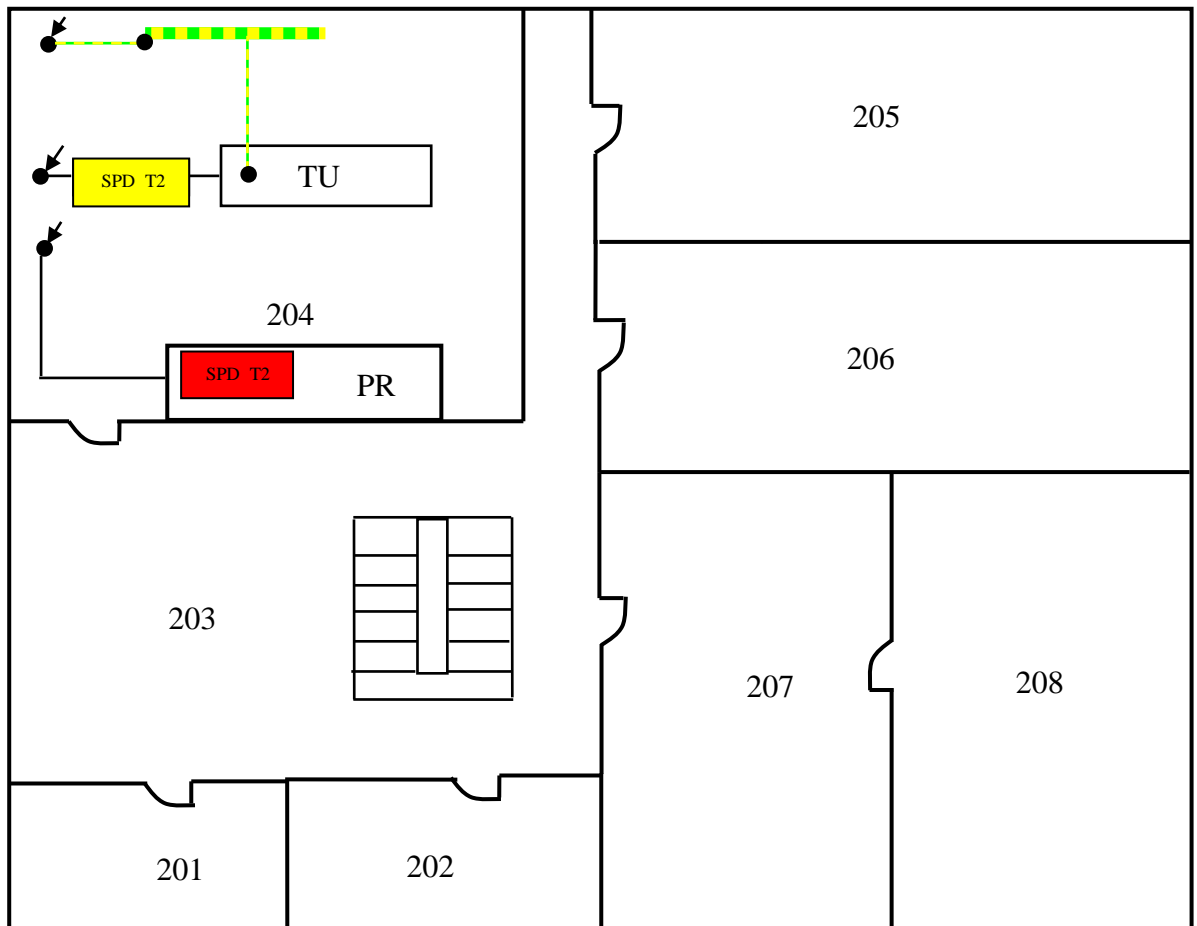
 - odpadní potrubí

 - horkovod

 - přepět'ové ochranné zařízení typu 1

 - přepět'ové ochranné zařízení typu 1


 - přepět'ové ochranné zařízení typu 3




Obrázek 60 Půdorys 2.np

Legenda:

PR- podružný rozvaděč NN, TU – telefonní ústředna,

 - přepět'ové ochranné zařízení typu 2

 - přepět'ové ochranné zařízení typu 2

Dílčí závěr

Návrh zabezpečení slaboproudých zařízení před přepětím vychází z doporučení vývojového diagramu návrhu systému LPS, který je obsažen v ČSN EN 62305-3 ed.2. Návrh je proveden na dvoupodlažní kancelářské budově. Na začátku návrhu je uvedeno ocenění rizika a stanovení potřebné hladiny ochrany LPS tak jak to vyžaduje Vyhláška 268/2009Sb. Dále návrh řeší druh jímací soustavy, počet svodů, výpočet dostatečné vzdálenosti vnitřní elektroinstalace od vnějšího systému ochrany před bleskem. V návrhu zemniče byl zvolen základový zemnič.

U vnitřního LPS je navrženo pospojování všech kovových částí vstupujících do budovy. Napájecí a telekomunikační kabel budou zahrnuty do pospojování za pomoci přepět'ového ochranného zařízení.

Pro elektroinstalace i telekomunikační rozvod je navrženo koordinovaný systém ochrany před přepětím.

5 VÝVOJOVÉ TRENDY

V oblasti výzkumu a vývoje ochranných zařízení proti přepětí dochází neustále k novým poznatkům. Tyto poznatky jsou uplatňovány do výroby nových výrobků sloužící k ochraně jak před účinky přepětí, tak i před účinky atmosférických výbojů.

5.1 Plynem plněné jiskřiště VG

Přepěťové ochranné zařízení standardního typu 1, popřípadě 1+2, se vyrábějí na bázi jiskřiště, nebo varistoru. Každý prvek má své výhody a nevýhody. Nevýhodou jiskřiště je následný proud, který protéká svodičem i po odeznění přepětí a může dosáhnout hodnoty blízké zkratovému proudu. To je nepříjemné jak u svodičů na straně střídavého proudu, protože do doby zhasnutí následného proudu je elektrický obvod namáhán velkým proudem, tak především u svodičů na stejnosměrné straně, kde stejnosměrný proud neprotéká nulou a oblouk hoří trvale, dokud není zhasnut pomocí komplikovaného zhášecího obvodu. Nevýhodou varistoru je, že nezajišťuje galvanickou izolaci. Varistorem vždy protéká určitý propustný proud, který je sice malý, ale při nepříznivých podmínkách okolí jako je velká teplota, velká vlhkost propustný proud vzrůstá, varistor postupně stárne a svodič přepětí musí být vyměněn.

Princip svodičů přepětí na bázi technologie VG spočívá v sériové kombinaci speciálního plynem plněného jiskřiště a varistoru. Kombinací obou těchto prvků se jejich výhody sčítají a zároveň se odstraňují jejich nevýhody. V běžném provozu plynem plněné jiskřiště zajišťuje galvanickou izolaci a svodičem, a tedy ani varistorem neprotéká žádný propustný proud. Tím se výrazně omezuje tepelné namáhání varistoru a minimalizuje se jeho stárnutí, což významně prodlužuje životnost svodiče. Naproti tomu při vzniku přepětí varistor zajišťuje, že plynem plněné jiskřiště nespíná do hodnot blízkých zkratu, takže svodičem neprotéká následný proud, elektrický obvod není namáhán následným proudem a není ho nutné, zejména u stejnosměrných svodičů komplikovaně zhášet.

Svodič přepětí na bázi technologie VG okamžitě omezuje přepětí na hodnotu nižší než 1,5 kV a spolehlivě svádí impulsní proud k zemi. Ihned po odeznění přepětí varistor zajišťuje zhasnutí plynem plněného jiskřiště, takže neprotéká následný proud a neprojeví se deformace napájecího napětí. [15]

5.2 Svodiče XTU

Přepět'ové ochranné zařízení XTU firmy DEHN s technologií ActivSence dokážou:

- automaticky rozeznat velikost připojeného provozního napětí,
- optimálně přizpůsobí ochranou úroveň právě přiloženému napětí.

Univerzální napět'ový rozsah:

- pro stejnosměrné napětí je 0 až 180V,
- pro střídavé napětí je 0 až 127V.

ActivSence – zkratka pro aktivně napět'ově citlivý.

5.3 Systém monitorování přepět'ových ochranných zařízení

Základem systému nepřetržitého monitoringu je modul, který umožňuje bezdotykově a nepřetržitě sledovat stav přepět'ových ochranných zařízení s integrovanou technologií RFID. Následně je možný dálkový přenos dat prostřednictvím rozhraní RS – 485 na vzdálené pracoviště. Tyto přepět'ové ochranné zařízení a monitorovací modul jsou firmy Dehn označeny symbolem Life Check. Technologie LifeCheck spolehlivě rozpozná tepelné a elektronické přetížení přepět'ových ochranných zařízení. K přístroji DEHNrecord může být připojeno až deset ochranných modulů s integrovaným modulem LifeCheck.

Diagnostický systém tvoří dvě jednotky:

- Čtecí a signalizační jednotka RFID – testr

Elektronické obvody vysílají energii do transpondéru RFID integrovaného v ochranném modulu přepět'ového ochranného zařízení a odčítají data odezvy. Jsou-li data čitelná, je ochranný modul v pořádku. Výsledek je poté zobrazen na displeji.

- Kontrolní jednotka integrovaná ve svodiči

Kontrolní jednotka propojuje třístupňový kontrolní obvod LifeCheck s komunikačními obvody transpondéru RFID. Předávány jsou tyto informace:

- diagnostika elektrického přetížení (impulsním proudem),
- diagnostika tepelného přetížení (přehřátí). [2]

Diagnostika pomocí rozhraní RS 485:

Jednotlivé moduly se dají propojit paralelně pomocí linky BUS. Propojení je doporučeno provést kroucenou dvoulinkou a pro vedení delší jak tři metry použít stíněnou dvoulinku.



Obrázek 61 Měřicí přístroj DRC LC M3+ [14]

5.4 Vodič HVI

Základem bezpečné ochrany před bleskem je na prvním místě zabránění vniknutí bleskového proudu do vnitřní instalace, které může být způsobeno:

- vzájemným pospojováním jímací soustavy s vnitřními kovovými instalacemi,
- nedovolenými přeskoky mezi vnější a vnitřní vodivou instalací.

Vysoká impulsní napětí způsobují přeskoky jisker mezi povrchy izolantů. Tento efekt je znám jako klouzavý výboj. Dojde-li k překročení hodnoty zapalovacího napětí, je iniciován výboj mezi povrchovými plochami, jehož délka může dosahovat až několika metrů.

Z těchto důvodů firma DEHN vyvinula speciální vysokonapětové kabely řady HVI. Vodič HVI je vybaven pláštěm se speciálním polovodivým povrchem, který zabraňuje vzniku klouzavých výbojů a tím umožňuje řízené vyrovnání vysokého napětí vzniklého při úderu blesku se vztažným potenciálem budovy.

Správná funkce vodiče HVI je podmíněna tím, že se mimo oblast koncovky připojí speciální plášť vodiče k systému vyrovnání potenciálů budovy, kterým neprotékají žádné dílčí bleskové proudy.

Vodič HVI má charakter koaxiálního kabelu. Jeho konstrukci tvoří žíla z měděného drátu o průřezu 19 mm^2 a tlustostěnný izolační materiál odolný proti vysokému napětí. Vnější speciální polovodivý plášť je odolný proti povětrnostním podmínkám. Vodič HVI je dodáván v provedení s černým pláštěm s vnějším průměrem 20 mm nebo

s ochranným šedým pláštěm s vnějším průměrem 23mm. Vodič HVI s šedým pláštěm je vhodný k instalaci pod omítku.

Aby se zabránilo jiskření způsobeným kapacitními posuvnými proudy, může být plášť vodiče HVI i na několika místech připojen k systému vyrovnání potenciálů.

Měření prokázalo, že elektrická pevnost vodiče HVI odpovídá dostatečné vzdálenosti $s = 75\text{cm.}$ (ve vzduchu). [16]

Vodiče HVI se používají nejčastěji:

- jako skryté svody v zateplených nebo skleněných fasádách,
- u anténních a satelitních systémů,
- v prostorách s nebezpečím výbuchu.



Obrázek 62 Vodiče HVI [14]

Dílčí závěr

Trendem v ochranných přepětových zařízeních je použití plynu v jiskřišti. Plyn zajistí, že jiskřiště nebude spínat do hodnot blízkých zkratu, takže přepětovým zařízením nebude protékat následný proud. Tuto vlastnost především oceníme ve stejnosměrných obvodech.

Výhodou je možnost monitorování stavu ochranných přepětových zařízení. Dnes je již samozřejmostí dálková signalizace stavu pomocí beznapětového kontaktu. U přepětových zařízení firmy DEHN vybavených systémem LifeCheck lze provádět diagnostiku pomocí RFID testeru.

Novinkou u ochranných přepětových zařízení je automatické rozeznání připojeného napětí s optimálním přizpůsobí ochranou úroveň právě přiloženému napětí.

V oblasti ochrany před účinky bleskového výboje je k použití HVI vodič. Svou elektrickou pevností dokáže nahradit dostatečnou vzdálenost až 75 cm.

ZÁVĚR

Před návrhem zabezpečení slaboproudých zařízení proti účinkům přepětí předcházelo seznámení s legislativními a technickými požadavky na ochranu zařízení proti přepětí. Nejprve byl proveden rozbor právních požadavků a to zákonem 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky. Důležitý je zákon č.183/2006Sb., o územním plánování a stavebním řádu. Jeho provádění upřesňuje vyhláška 268/2009Sb., o technických požadavcích na stavby, která uvádí kdy je nutno zřizovat ochranu před bleskem a přepětím. V oblasti technických požadavků bylo nutno se seznámit s českými technickými normami. I když dle naší právní legislativy jsou normy nezávazné, může je zákon učinit závaznými.

Po rozboru legislativních a technických požadavků bylo provedeno seznámení s technickými prostředky k omezení účinků přepětí. Tyto technické prostředky pracují na různých fyzikálních principech. Dle těchto fyzikálních principů jsou tyto prostředky použity pro různé účely v oblasti omezení přepětí.

V návrhu ochrany slaboproudých zařízení proti účinkům přepětí byl vybrán model dvoupodlažní kancelářské budovy. Návrh ochrany je proveden dle doporučení vývojového diagramu návrhu systému LPS dle ČSN EN 62305-3 ed.2. V charakteristice chráněné stavby jsou uvedeny rozměry stavby, materiál pláště budovy a střechy, inženýrské sítě vstupující do objektu. Charakteristika dále identifikuje elektrické rozvaděče, z kterých jsou provedeny rozvody elektrické energie po budově. Tyto rozvody slouží pro napájení zásuvkových okruhů, zařízení měření a regulace, EPS a PZTS.

Při ocenění rizika a stanovení potřebné hladiny ochrany před bleskem byl použit výpočetní program Prozik 1.03 od firmy OEZ s.r.o. Letohrad. Při zadávání údajů bylo vycházeno z charakteristiky stavby. Výstupem je, že u objektu všechna vypočtená rizika jsou nižší než nastavené přípustné hodnoty a proto je objekt dostatečně chráněn proti přepětí způsobeném při úderu blesku. U objektu je stanovena třída LPS III.

Vnější systém ochrany před bleskem je tvořen jímací soustavou, soustavou svodů a uzemňovací soustavou. Na střeše je vytvořena mřížová jímací soustava. Počet svodů byl z architektonického hlediska rozšířen oproti výpočtu na čtyři svody. Zemnič byl zvolen základový. Byl proveden výpočet dostatečné vzdálenosti hromosvodové soustavy od vnitřních kovových částí a elektrických rozvodů.

Vnitřní ochrana LPS bude provedena za pomoci pospojování a koordinované ochrany SPD.

Do pospojování budou zahrnuty všechny kovové části vstupující do objektu. Sem patří kabel přívodu elektrické energie, ale i telekomunikační kabel. Všechny kovové části budou spojeny na ekvipotenciální svorkovnici, která je spojena s uzemňovací soustavou objektu.

Koordinovaná ochrana SPD je provedena na napájecím vedení a telekomunikačním vedení. V hlavním rozvaděči NN je umístěn SPD typu 1, který je zkoordinovaný s typem 2. Podružný rozvaděč v 2.np je opatřen SPD typu 2. Rozvaděče Mar, EPS, PZTS a zásuvkové obvody jsou opatřeny SPD typu 3. Telekomunikační kabel bude na přívodu opatřen SPD typu 1. Na vstupu do serverovny bude tento kabel opatřen SPD typu 2.

Při tvoření diplomové práce jsem se seznámil s problematikou ochrany před bleskem a přepětím. Diplomová práce dále může sloužit jako pomůcka pro projektanty, revizní techniky, elektromontéry nebo případné investory, kteří mají v plánu výstavbu objektu, kde připadá v úvahu ochrana před bleskem a přepětím.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

Proposing of security of low voltage equipment against over voltage was preceded by familiarization with legal and technical requirements for equipment protection against over voltage. At first, the analysis of legal requirements and law 22/1997 Coll. on technical requirements for products was made. The law No.183/2006Sb., on territorial planning and building regulations is very important. The implementation of the decree specifies 268/2009Sb., On technical requirements for buildings and it states where it is necessary to set up protection against lightning and surges. In the area of technical requirements, it was necessary to get acquainted with Czech technical standards. Although Czech law legislation standards are not binding, the law is made mandatory.

After the analysis of legislative and technical requirements, the technical means to limit effects of the surge were made. These technical requirements work on different physical principles. These physical principles are used for various purposes in the over-voltage limitation.

The proposal for the protection of low voltage equipment against over voltage was chosen to model two-storey office building. Design protection is carried out according to recommendations of the LPS system design flowchart according to ČSN EN 62305-3 ed. 2. In the characteristics of building dimensions of the buildings, the material shell of the building and the roof, engineering networks entering the object. The characteristics further identifies electrical switchboards, which carry out power lines in the building. These distributions are used for the power supply connector circuits, equipment, instrumentation and control, EPS and ELECTRONIC SECURITY.

Prozik 1.03 from OEZ s.r.o. Letohrad was used to evaluate risk and to establish necessary levels of lightning protection of a computer programme. When entering data, the characteristic of the building was used. The output is an object that all calculated risks are lower than the set limit values and, therefore, the object is sufficiently protected against power surges caused by lightning strike. The object is classed by LPS III.

External lightning protection system is made up of interception system, a system of downspouts and grounding system. Interception lattice system is created on the roof. From the architectural point of view, the number of leads was enlarged in comparison with the calculation of four leads. It was chosen a basic rod. The calculation was made away from the inner lightning rod system of metal components and electrical wiring.

The internal protection of the LPS will be carried out by means of grounding connection and coordinated SPD protection. The measure will be included all the metallic parts entering the object. This includes cable outlet, but also telecommunications cable. All metal parts are connected to the earth terminal block, which is connected to the earthing system of the object.

Coordinated SPD protection is carried out on the power supply management and telecommunications management. In the main switchboard LV SPD type 1 is located, and located and is coordinated with the type 2. Sub-distributor in 2nd floor is equipped with SPD type 2. Distributor of instrumentation, EPS, ELECTRONIC SECURITY and socket circuits are fitted with SPD type 3. Telecommunications cable inlet will be equipped with SPD type 1. At the entrance to the server room will be equipped with this cable SPD type 2.

When I create the thesis I became acquainted with problems of lightning protection and surge protection. The thesis also serve to a tool for designers, revision techniques, electronic mounters, or potential investors, who are planning the construction of the building where appropriate, protection against lightning and power surges is taking into consideration.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KŘEČEK, Stanislav. *Příručka zabezpečovací techniky*. 3.vyd. S. I. : Cricetus, 2006. ISBN 80-902938-2-4.
- [2] *Přepětové ochrany, hromosvody a uzemnění*. Překlad MARKS, Wolfgang. © Copyright 2011 DEHN+SÖHNE. Tiskopis č. DS591/CZ/0111.
- [3] ČSN EN 62305-1 ed.2. *Ochrana před bleskem-Část 1: Obecné principy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Třídící znak 34 1390.
- [4] ČSN EN 62305-2. *Ochrana před bleskem-Část 2: Řízení rizika*. Praha: Český normalizační institut, 2006. Třídící znak 34 1390.
- [5] ČSN EN 62305-3 ed.2. *Ochrana před bleskem-Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. Třídící znak 34 1390.
- [6] ČSN EN 62305-4 ed.2. *Ochrana před bleskem-Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Třídící znak 34 1390.
- [7] ČSN EN 60664-1 ed.2. *Koordinace izolace zařízení nízkého napětí-Část 1: Zásady, požadavky a zkoušky*. Praha: Český normalizační institut, 2008. Třídící znak 33 0420.
- [8] Aplikační příručka. *Přepětové ochrany*. OEZ Letohrad 2012. P01-2012-C.
- [9] KOUDELKA, Ctirad.; VRÁNA, Václav. *Ochrana před přepětím* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra obecné elektrotechniky, 2006 [cit. 2013-05-05]. Dostupný z: http://www.fe1.vsb.cz/kat420/vyuka/BC-FBI/Prednasky/ochrana_pred_prepetim.pdf
- [10] BURANT, Jiří. *Blesk a přepětí, systémová řešení ochran*. 1.vyd. Praha: FCC Public, 2006. ISBN 80-86534-10-3.
- [11] DŘÍNOVSKÝ, Jiří.; FRÝZA, Tomáš.; SVAČINA, Jiří.; KEJÍK, Zdeněk.; RŮŽEK, Václav. *Encyklopedie EMC* [online]. Brno: Vysoké technické učení v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radiotechniky, [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/index.php?src=home>
- [12] KUTÁČ, Jiří.; MERA VÝ, Ján. *Ochrana před bleskem a přepětím z pohledu soudních znalců*. 1.vyd. Ostrava: SPBI Ostrava 2010, 2010. ISBN 978-80-7385-081-4.

[13] OEZ LETOHRAD. *Prozik 1. 03.* [software]. [přístup 5. května 2013]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/sluzby/vypoctovy-program-prozik>

[14] DEHN+SÖHNE. *Dehn.de*[online]. © Copyright 2012 [cit. 2013-05-05]. Dostupný z: <http://www.dehn.de/de/products/lightning.shtml>

[15] *Elektro*. FCC Public, 2011, č. 6. ISSN 1210-0889.

[16] *Oddálené hromosvody*. Překlad MARKS, Wolfgang. © Copyright 2013 DEHN+SÖHNE. Tiskopis č. DS151/CZ/0213.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

- ISG (isolating spark gap), oddělovací jiskřiště
- LEMP (lightning electromagnetic impulse), elektromagnetický impuls vyvolaný bleskem
- LPL (lightning protection level), hladina ochrany před bleskem
- LPMS (LEMP protection measures system), kompletní systém ochranných opatření pro vnitřní systém ochrany před LEMP
- LPS (lightning protection system), systém ochrany před bleskem
- LPZ (lightning protection zone), zóna ochrany před bleskem
- R_A úraz živých bytostí z důvodu úderu do stavby
- R_B hmotná škoda na stavbě z důvodu úderu do stavby
- R_C porucha vnitřních systémů z důvodu úderu do stavby
- R_M porucha vnitřních systémů z důvodu úderu v blízkosti stavby
- R_U úraz živých bytostí z důvodu úderu do připojené inženýrské sítě
- R_V hmotná škoda na stavbě z důvodu úderu do připojené inženýrské sítě
- R_W porucha vnitřních systémů z důvodu úderu do připojené inženýrské sítě
- R_Z porucha vnitřních systémů z důvodu úderu v blízkosti připojené inženýrské sítě
- SPD (surge protective device), přepět'ové ochranné zařízení
- SPM (surge protection measures), ochranná opatření pro vnitřní systém ochrany před elektromagnetickým impulsem vyvolaným bleskem

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Propojení souboru norem řady ČSN EN 62305	11
Obrázek 2 Členění škod způsobené bleskem.....	12
Obrázek 3 Rozdělení systému ochrany před bleskem.....	16
Obrázek 4 Postup pro rozhodnutí o potřebě ochrany [4].....	18
Obrázek 5 Stanovení ochranného prostoru jímací tyče [5].....	21
Obrázek 6 Jímací soustava podle metody valící se koule [5]	22
Obrázek 7 Ochranný prostor neizolované mřížové jímací soustavy [5].....	23
Obrázek 8 Druhy uzemňovacích soustav	24
Obrázek 9 Způsob zabránění jiskření	25
Obrázek 10 Obecný princip rozdělení do různých LPZ [6].....	28
Obrázek 11 Ochranná opatření pro SPM.....	29
Obrázek 12 Impulsní výdržná napětí U_{imp} pro síť nn 230/400V [8].....	31
Obrázek 13 Druhy pulsního přepětí	33
Obrázek 14 Druhy bleskových výbojů.....	35
Obrázek 15 Princip jednoduchého jiskřiště [10].....	40
Obrázek 16 Pracovní charakteristika jiskřiště omezující úroveň i dobu trvání přepětí [10].....	41
Obrázek 17 Řez varistorem [10].....	42
Obrázek 18 Omezující charakteristika varistoru [10].....	42
Obrázek 19 Voltampérová charakteristika supresorové diody [10].....	44
Obrázek 20 Omezující charakteristika supresorové diody [10].....	44
Obrázek 21 Vnitřní zapojení kombinovaného SPD třídy 2 nebo 3 [10].....	45
Obrázek 22 Vnitřní zapojení kombinovaného SPD třídy 1+2 [10]	45
Obrázek 23 Vícetupňové zapojení SPD pro slaboproudé rozvody [10]	46
Obrázek 24 Vývojový diagram návrhu systému LPS [5]	47
Obrázek 25 Zadávací okno Prozik1.03 [13]	49
Obrázek 26 Plastová podpěra FB2 Ocenění rizika a stanovení třídy LPS [14]	52
Obrázek 27 Zkušební svorka [14]	53
Obrázek 28 Číselný štítek [14]	53
Obrázek 29 Svorka paralelní [14]	53
Obrázek 30 Podpěra vedení s příchýtkou [14].....	53
Obrázek 31 Dostatečná vzdálenost	54
Obrázek 32 Distanční držák pásku FeZn [14]	55

Obrázek 33	Základový zemnič	55
Obrázek 34	Vyvedení uzemňovacích přívodů pásového základu	56
Obrázek 35	Křížová svorka [14].....	56
Obrázek 36	Ekvipotenciální svorkovnice R15 [14].....	57
Obrázek 37	Vyrovnání potenciálu pro vnější vodivé části	58
Obrázek 38	Topologie rozváděčů nn v budově	59
Obrázek 39	Kombinovaný svodič – typ 1 [14]	60
Obrázek 40	Vnitřní zapojení kombinovaného svodiče – typ 1 [14]	60
Obrázek 41	Zapojení kombinovaného svodiče v hlavním rozvaděči	61
Obrázek 42	Vzdálenost přívodních vodičů na přepět'ové ochranné zařízení [8].....	61
Obrázek 43	DENHguard M TNC 275(FM) [14]	62
Obrázek 44	Vnitřní zapojení DENHguard M TNC 275(FM) [14]	63
Obrázek 45	DEHNrail M4P 255 [14]	63
Obrázek 46	Vnitřní zapojení DEHNrail M4P 255 [14]	64
Obrázek 47	DEHNrail M2P 255 [14]	64
Obrázek 48	Vnitřní zapojení DEHNrail M2P 255 [14]	65
Obrázek 49	Modul STC 230 [14]	65
Obrázek 50	Vnitřní zapojení modulu STC 230 [14]	66
Obrázek 51	Modul BXT ML 2 BE [14]	66
Obrázek 52	Patice BXT BAS [14].....	66
Obrázek 53	Pospojování telekomunikačního kabelu.....	67
Obrázek 54	Montáž Blitzductoru XT [14].....	68
Obrázek 55	Vnitřní zapojení modulu BXT ML 2 BE [14].....	68
Obrázek 56	Doporučené připojení kabeláže [14]	68
Obrázek 57	RK MD 110 [14]	69
Obrázek 58	Vnitřní zapojení RK MD 110 [14]	69
Obrázek 59	Půdorys 1.np	70
Obrázek 60	Půdorys 2.np	71
Obrázek 61	Měřicí přístroj DRC LC M3+ [14]	75
Obrázek 62	Vodiče HVI [14].....	76

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Škody a ztráty na stavbách dle různých míst úderů blesku [3]	13
Tabulka 2 Typy ztrát a odpovídající rizika vyplývající z různých typů poškození [3]	14
Tabulka 3 Hladiny ochrany před bleskem [3]	15
Tabulka 4 Zóny ochrany před bleskem [3]	16
Tabulka 5 Hodnoty přípustného rizika [4]	19
Tabulka 6 Součásti rizika pro stavby pro různé typy škod způsobené různými příčinami [4]	19
Tabulka 7 Vztah mezi hladinou ochrany (LPL) a třídou LPS [5]	20
Tabulka 8 Ochranný úhel v závislosti na výšce jímače (stavby) [2]	21
Tabulka 9 Maximální hodnoty poloměru valící se koule přiřazené k třídě LPS [5]	22
Tabulka 10 Maximální velikosti ok k přiřazené třídě LPS [5]	23
Tabulka 11 Vzdálenosti mezi svody dle třídy LPS [5]	24
Tabulka 12 Hodnoty koeficientu k_i [5]	27
Tabulka 13 Hodnoty koeficientu k_c [5]	27
Tabulka 14 Hodnoty koeficientu k_m [5]	27
Tabulka 15 Výpočet rizik [13]	51