



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

**NÁVRH OCHRANY PŘED BLESKEM
MULTIFUNKČNÍHO OBJEKTU**

DESIGN OF LIGHTNING PROTECTION SYSTEM FOR A MULTIFUNCTIONAL BUILDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Antonín Drašnar

VEDOUCÍ PRÁCE

ADVISOR

Ing. Michal Ptáček, Ph.D.

BRNO 2024



Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Antonín Drašnar

ID: 240730

Ročník: 3

Akademický rok: 2023/24

NÁZEV TÉMATU:

Návrh ochrany před bleskem multifunkčního objektu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Provedení rešerše norem a předpisů souvisejících s návrhem bleskosvodu. Zhodnocení softwarových možností pro výpočet rizik a bezpečnostní vzdálenosti
2. Provedení základní charakteristiky zadaného multifunkčního objektu a provedení výpočtu rizik
3. Provedení variantních návrhů bleskosvodu pro zadaný objekt
4. Vypracování rozpočtů pro jednotlivé varianty návrhů a jejich celkové zhodnocení

DOPORUČENÁ LITERATURA:

doporučená literatura podle pokynů vedoucího závěrečné práce a konzultanta externí firmy poskytující vstupní data

Termín zadání: 5.2.2024

Termín odevzdání: 29.5.2024

Vedoucí práce: Ing. Michal Ptáček, Ph.D.

prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato závěrečná práce popisuje náležitosti potřebné ke správnému postupu ochrany objektů před ničivými účinky bleskového proudu. Zaměření praktické části porovnává vybrané softwarové nástroje usnadňující jednak postup analýzy rizik možných škod způsobených úderem blesku a dále také umožňující nalezení adekvátní ochrany hodnoceného objektu. Samotné srovnání softwarů je provedeno z pohledu jejich dostupnosti, přehlednosti a zejména také z pohledu samotných poskytovaných funkcionalit. Funkcionality a možnosti jednotlivých softwarů jsou cíleně demonstrovány na definovaném komplexním objektu, k realizaci dvou návrhů jímací soustavy, konkrétně v provedení s oddáleným hromosvodem a s využitím metody ekvipotenciálního pospojování. Oba aplikované přístupy ochrany před bleskem jsou pak detailněji zhodnoceny z hlediska technické a ekonomické náročnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Ochrana před bleskem, blesk, jímací soustava, hromosvod, úder blesku, návrh hromosvodu, software, analýza rizik, ochrany

ABSTRACT

This final thesis describes the essentials required for the correct process of protecting objects against the destructive effects of lightning current. The focus of the practical part compares selected software tools that facilitates both the risk analysis process of possible damage caused by a lightning strike and enables the finding of adequate protection of the assessed object. The comparison of the software itself is made from the point of view of their availability, clarity and especially also from the point of view of the provided functionalities. The functionalities and options of each software are purposefully demonstrated on a defined complex building, for the implementation of two designs of the lightning protection system, specifically in the version with a distant lightning protection system and using the method of equipotential bonding. Both applied lightning protection are then compared in more detail in terms of technical and economic demands.

KEYWORDS

Lightning protection, lightning, lightning protection system, lightning rod, strike of lightning, design of lightning protection system, software, risk analysis, protection

DRAŠNAR, Antonín. *Návrh ochrany před bleskem multifunkčního objektu* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-29]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/159529>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Michal Ptáček.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Antonín Drašnar
VUT ID autora: 240730
Typ práce: Bakalářská práce
Akademický rok: 2023/24
Téma závěrečné práce: Návrh ochrany před bleskem multifunkčního objektu

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Michalu Ptáčkovi, Ph.D. za odborné vedení práce a cenné rady, které mi pomohly tuto práci zkompletovat. Taktéž bych chtěl poděkovat panu Ing. Janu Novotnému za vstřícnost, trpělivost a pomoc při získání potřebných informací a podkladů k řešení praktické části.

Obsah

| | |
|---|-----------|
| Úvod | 11 |
| 1 Účinky blesku | 12 |
| 1.1 Škody způsobené bleskem | 12 |
| 1.2 Potřeba a ekonomická výhodnost ochranných opatření před bleskem | 13 |
| 1.3 Ochranná opatření | 14 |
| 1.4 Volba ochranných opatření | 14 |
| 2 Řízení rizika | 16 |
| 2.1 Riziko a skládání součástí rizika | 16 |
| 2.2 Základní postupy řízení rizika | 18 |
| 2.2.1 Přípustné riziko R_T | 18 |
| 2.2.2 Postup pro ocenění efektivnosti nákladů na ochranu | 19 |
| 2.3 Výpočet rizika | 19 |
| 2.3.1 Sběrné plochy | 19 |
| 2.3.2 Odhad ročních počtů nebezpečných událostí N_X | 20 |
| 2.3.3 Stanovení součástí rizika | 21 |
| 2.4 Odhad pravděpodobností P_x škod způsobené úderem blesku | 22 |
| 2.5 Odhad rozsahu ztrát L_X | 24 |
| 2.5.1 Ztráta lidského života L1 | 24 |
| 2.5.2 Ztráta veřejné služby L2 | 25 |
| 2.5.3 Ztráta ekonomických hodnot L4 | 25 |
| 2.6 Ocenění nákladů na ztráty | 26 |
| 3 Ochrana před bleskem | 28 |
| 3.1 Vnější systém ochrany před bleskem | 28 |
| 3.2 Vnitřní systém ochrany před bleskem | 32 |
| 4 Ochrana elektrických a elektronických systémů | 34 |
| 5 Softwarové zhodnocení | 36 |
| 5.1 DEHNsupport Toolbox | 36 |
| 5.1.1 DEHN Risk Tool - Analýza rizika | 36 |
| 5.1.2 DEHN Distance Tool Module - výpočet dostatečné vzdálenosti | 39 |
| 5.2 Hakelsoft | 41 |
| 5.2.1 Hakelsoft výpočet rizik | 41 |
| 5.2.2 Hakelsoft výpočet dostatečné vzdálenosti | 44 |
| 5.3 OEZ Prozik | 45 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.4 | Milanovy SW | 47 |
| 5.4.1 | Milanův software pro analýzu rizika | 48 |
| 5.4.2 | Milanův výpočet dostatečné vzdálenosti | 50 |
| 6 | Řešení ochrany multifunkčního objektu | 51 |
| 6.1 | Multifunkční objekt | 51 |
| 6.2 | Analýza rizika multifunkčního objektu | 56 |
| 6.3 | Návrh ochranných opatření | 59 |
| 6.3.1 | Návrh A – oddálený hromosvod | 60 |
| 6.3.2 | Návrh B – neizolovaný hromosvod | 61 |
| 7 | Zhodnocení návrhů hromosvodu | 64 |
| 7.1 | Návrh A | 64 |
| 7.2 | Návrh B | 64 |
| 7.2.1 | Cena montáže návrhů | 65 |
| 7.3 | Volba návrhu pro řešený multifunkční objekt | 66 |
| | Závěr | 67 |
| | Literatura | 69 |
| | Seznam symbolů a zkratk | 72 |
| | Seznam příloh | 80 |
| | A Obsah elektronické přílohy A | 81 |
| | B Obsah elektronické přílohy B | 82 |

Seznam obrázků

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | Škody a ztráty dle místa úderu blesku [1]. | 13 |
| 3.1 | Ochranný úhel odpovídajícím třídám LPS [6] | 29 |
| 3.2 | Chráněný prostor svislé jímací tyče [3] | 30 |
| 3.3 | Použití metody valící se koule, převzato z [3] | 30 |
| 3.4 | Způsob instalace mřížové soustavy [7] | 31 |
| 4.1 | Rozdělení LPZ [8] | 35 |
| 5.1 | Prostředí softwaru DEHN Risk Tool | 37 |
| 5.2 | Ocenění nákladů pomocí DEHN Risk Tool | 38 |
| 5.3 | Volba ochranných opatření softwarem DEHNsupport | 39 |
| 5.4 | Výpočet bezpečné vzdálenosti v DEHN Distance Tool Module – způsob zadávání rozměrů stavby (horní), výsledný model stavby s umístěním jímací soustavy (dolní) | 40 |
| 5.5 | Prostředí softwaru analýzy rizik Hakelsoft | 42 |
| 5.6 | Ocenění nákladů pomocí nástroje Hakelsoft | 43 |
| 5.7 | Hakelsoft výpočet dostatečné vzdálenosti-soustava mnoha svodů [16] | 44 |
| 5.8 | Hakelsoft výpočet dostatečné vzdálenosti-šikmá střecha [16] | 45 |
| 5.9 | Prostředí softwaru Prozik | 46 |
| 5.10 | Postup volby ochranných opatření v OEZ Prozik | 47 |
| 5.11 | Prostředí Milanova softwaru pro výpočet rizik | 48 |
| 5.12 | Tabulka ovlivňujících faktorů součástí rizik, Milanův SW | 49 |
| 5.13 | Milanův výpočet dostatečné vzdálenosti | 50 |
| 6.1 | Vizualizace řešeného multifunkčního objektu | 51 |
| 6.2 | Výpočet sběrné plochy pomocí DEHNsupport | 52 |
| 6.3 | Propad valivé koule | 60 |

Seznam tabulek

| | | |
|------|--|----|
| 2.1 | Hodnoty přípustného rizika[2] | 18 |
| 3.1 | Druhy objektu dle LPS, modifikováno z [5] | 28 |
| 3.2 | Parametry přiřazené k třídám LPS | 29 |
| 3.3 | Obvyklé vzdálenosti mezi svody v závislosti na třídě LPS [3] | 32 |
| 6.1 | Inženýrské sítě – silové vedení | 53 |
| 6.2 | Inženýrské sítě – telekomunikační vedení | 53 |
| 6.3 | Charakterizace zón objektu | 54 |
| 6.4 | Vlastnosti venkovní zóny stavby | 54 |
| 6.5 | Vlastnosti podzemní garáž | 54 |
| 6.6 | Vlastnosti zóny pro sportovní užití | 55 |
| 6.7 | Vlastnosti obchodní zóny | 55 |
| 6.8 | Vlastnosti zóny kanceláří | 55 |
| 6.9 | OEZ Prozik, upřesňující parametry ($\times 10^{-5}$) | 56 |
| 6.10 | Hakelsoft, upřesňující parametry ($\times 10^{-5}$) | 56 |
| 6.11 | Milanův software, upřesňující parametry ($\times 10^{-5}$) | 57 |
| 6.12 | DEHNsupport, upřesňující parametry ($\times 10^{-5}$) | 57 |
| 6.13 | Vlastní výpočet, upřesňující parametry ($\times 10^{-5}$) | 57 |
| 6.14 | Výsledné hodnoty rizik při využití upřesňujících parametrů ($\times 10^{-5}$) | 57 |
| 6.15 | Chráněná stavba při využití všech nabízených funkcí ($\times 10^{-5}$) | 57 |
| 6.16 | OEZ Prozik, typické hodnoty ($\times 10^{-5}$) | 58 |
| 6.17 | Hakelsoft, typické hodnoty ($\times 10^{-5}$) | 58 |
| 6.18 | Milanův software, typické hodnoty ($\times 10^{-5}$) | 58 |
| 6.19 | Vlastní výpočet, typické hodnoty ($\times 10^{-5}$) | 59 |
| 6.20 | Výsledné hodnoty rizik při využití typických hodnot ($\times 10^{-5}$) | 59 |
| 6.21 | Chráněná stavba ($\times 10^{-5}$) | 59 |
| 6.22 | Bezpečné vzdálenosti S (cm), oddálený hromosvod | 60 |
| 6.23 | Soupiska materiálu pro oddálený hromosvod (ceny převzaty z[26]) | 61 |
| 6.24 | Bezpečné vzdálenosti S (cm), ekvipotenciální pospojování | 62 |
| 6.25 | Soupiska materiálu pro soustavu s ekvipotenciálním pospojováním (ceny převzaty z[26]) | 63 |
| 7.1 | Soupiska cen montáže (ceny převzaty z [31]) | 65 |

Úvod

Atmosférický výboj, neboli blesk, je velmi silný fyzikální jev, kterému nelze zabránit. Jeho účinky mohou mít katastrofální následky, je proto důležitá snaha těmto nežádoucím účinkům ohrožujícím lidské zdraví, životy a hmotné či ekonomické ztráty zabránit. Rizika a pravděpodobnosti vzniku nebezpečí a ztrát, zapříčiněné úderem blesku do stavby, jsou určovány dle platných norem ČSN EN 62305 ed.2 [1]–[4]

Na základě výsledných rizik jsou podniknuty důležité kroky k zajištění potřebné ochrany řešené stavby a současně snížení rizik na přijatelné hodnoty. Pro ulehčení dlouhého procesu posuzování možných škod a hledání adekvátní ochrany vzniklo nespočet softwarových aplikací, které podle zadaných parametrů stavby dokáží nejen analyzovat možná rizika, ale i navrhnout potřebné instalace k jejich snížení.

Ochranu před bleskem lze rozdělit na části vnější a vnitřní. Účelem vnější části ochrany je jímat přímé údery bleskového proudu na stavbu nejkratší možnou cestou za pomoci svodů do země. Vnitřní ochrana snižuje vznik nebezpečného jiskření a možné poškození elektrických systémů a spotřebičů.

Každý ze způsobů, jakými lze stavbu z vnější části stavby chránit, má své přednosti i nevýhody. Hlavními měřítky jsou ekonomické a technologické potřeby instalace, kdy nemusí být daný způsob ochrany vhodný na každý typ stavby.

V souvislosti s výše uvedeným je nyní řešena i tato práce, která má demonstrovat mimo jiné i praktický postup při řešení ochrany před bleskem na multifunkčním objektu.

1 Účinky blesku

Účinky působícího blesku mohou nejen poškodit stavbu a vnitřní systémy, ale také zapříčinit ztráty na životech. Poškození lze směřovat i na okolí stavby ovlivňující místní životní prostředí a inženýrské sítě. Rozsah tohoto působení je závislé na vlastnostech a charakteristikách úderu blesku.

Problematiku možných škod a ztrát způsobených účinky blesku řeší norma, ČSN EN 62305-1 ed.2[1], popsaná v této kapitole.

1.1 Škody způsobené bleskem

Aby bylo možné určit rizika a navrhnout ochranná opatření před bleskem, je nutné nejdříve určit účinky blesku působící na stavbu. K tomu napomáhají charakteristické vlastnosti stavby: konstrukce a účel stavby, obyvatelé a obsah a připojené inženýrské sítě.

Příčiny a typy poškození staveb

Příčinou poškození je bleskový proud. Vzhledem ke stavbě je příčinou uvažováno místo úderu, který poté může způsobit určité škody. Tyto škody mají pak za následky typické ztráty. Všechny tyto parametry rozdělujeme následovně:

Příčina poškození:

- S1: údery do stavby,
- S2: údery poblíž stavby,
- S3: údery do inženýrských sítí připojených ke stavbě,
- S4: údery poblíž inženýrských sítí připojených ke stavbě.

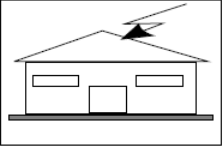
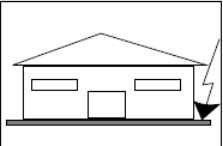
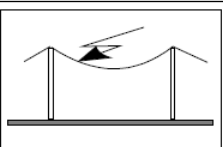
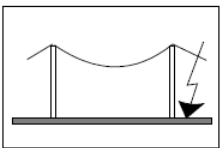
Typ škody:

- D1: úrazy živých bytostí dotykovým a krokovým napětím,
- D2: hmotné škody (mechanické poškození, požár, výbuch, uvolnění nebezpečných látek),
- D3: porucha vnitřních systémů.

Typ ztrát:

- L1: na lidských životech (i trvalých zdravotních následků),
- L2: veřejné služby,
- L3: kulturního dědictví,
- L4: ekonomické hodnoty.

Na obrázku 1.1 je zjednodušeně znázorněné propojení všech příčin škod, typem škody a jejich následnými ztrátami na základě místa úderu blesku.

| Místo úderu | | Příčina poškození | Typ poškození | Typ ztráty |
|-----------------------------|---|-------------------|----------------|---|
| Stavba |  | S1 | D1 D2 D3 | L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4 |
| V blízkosti stavby |  | S2 | D3 | L1 ^b , L2, L4 |
| Síť připojená ke stavbě |  | S3 | D1 D2 D3 | L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4 |
| V blízkosti inženýrské sítě |  | S4 | D3 | L1 ^b , L2, L4 |

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

Obr. 1.1: Škody a ztráty dle místa úderu blesku [1].

1.2 Potřeba a ekonomická výhodnost ochranných opatření před bleskem

Při návrhu ochrany stavby před bleskem je důležitá analýza možných rizik způsobených úderem blesku do stavby. Na základě získaných hodnot se instalují příslušná ochranná opatření. Uvažovaná rizika ztrát jsou uvedena následovně:

- R_1 : na lidských životech včetně trvalých zranění,
- R_2 : na službách veřejnosti;
- R_3 : na kulturním dědictví,
- R_4 : ekonomických hodnot.

Ochranná opatření musí být provedena ke snížení rizika R ($R_1 - R_4$) na přípustnou hladinu R_T , která udává maximální hodnotu rizika, kterou lze u objektu tolerovat.

$$R \leq R_T \quad (1.1)$$

K ocenění rizika R jsou definovány dílčí součásti rizika, závislé na příčině a typu škody.

1.3 Ochranná opatření

Snížení rizika lze dosáhnout ochrannými opatřeními v závislosti na typu poškození.

Opatření k omezení úrazů živých bytostí elektrickým proudem

Príslušná opatření obsahují:

- izolací nechráněných vodivých částí,
- vyrovnání potenciálu mřížovou uzemňovací soustavou,
- fyzické překážky a výstražné tabulky,
- ekvipotenciálním pospojováním (EB).

Opatření snižující hmotné škody

Zde je ochrany dosaženo pomocí systému ochrany před bleskem (LPS) s následujícími funkcemi:

- jímacími systémy,
- svody,
- uzemňovací soustavou,
- ekvipotenciálním pospojováním,
- elektrickou izolací a dostatečnou vzdáleností proti vnějším LPS.

Opatření snižující poruchy elektrických či elektronických systémů

Možná opatření zahrnují:

- opatření pro uzemnění a pospojování,
- magnetické stínění,
- směrování vedení,
- izolační vedení,
- koordinovanou přepětovou ochranu (SPD).

1.4 Volba ochranných opatření

K znemožnění proniknutí bleskového proudu nebo elektromagnetického pole blesku do chráněné stavby by bylo ideální uzavřít jej do dokonale vodivého, uzemněného a souvislého, dostatečně širokého, stínění. Také zajištění ideálního spoje stavby s inženýrskými sítěmi.

Ovšem v praxi je toto řešení nereálné a ochranné opatření je provedeno, s ohledem na technické a ekonomické potřeby, nejvhodnější opatření dle stanovených rizik, rozsahu a typu každé možné škody. Pro tyto účely byly přijaty hladiny ochrany před bleskem (LPL).

Hladiny LPL

Každá ze čtyř hladin je definovaná stanovenými hodnotami maximálních a minimálních parametrů bleskového proudu. Stanovená hladina se následně využívá pro

navržení hromosvodu (průřez vodičů, dostatečné vzdálenosti, tloušťka kovových stínění, atd.) také pro stanovení účinků blesku na tyto komponenty.

Ke každé minimální hodnotě vrcholového bleskového proudu jednotlivých LPL jsou přiřazeny poloměry tzv. valící se koule. U této metody se předpokládá, že všechny bleskové proudy vyšší než příslušná minimální vrcholová hodnota, budou zachyceny jímací soustavou. Metoda valící se koule tak představuje geometrickou hranici pro správné umístění jímací soustavy a určení vnější zóny ochrany před bleskem (LPZ 0_B), jež nesmí být zasažena přímým úderem.

Podrobnější popis a grafické znázornění využití metody valící se koule je popsána dále v podkapitolové části 3.1.

2 Řízení rizika

Cílem analýzy rizika je odhadnout možná rizika nežádoucích účinků způsobených úderem blesku. Přesahují-li dovolené hodnoty, instalují se ochranná opatření k jejich snížení. Tuto důležitou část návrhu ochrany vysvětluje norma ČSN EN 62305-2 ed.2 [2], ze které vychází text této kapitoly, .

2.1 Riziko a skládání součástí rizika

Každé oceňované riziko má své součásti specifikované příčinou poškození. Skládání rizik a jejich součástí jsou definovány v této sekci.

Součásti rizika následkem úderu do stavby (S1)

- R_A : součást rizika vztažená k úrazu živých bytostí zapříčiněným úrazem elektrickým proudem při dotykovém a krokovém napětí ve stavbě i mimo stavbu v zónách až 3 m kolem svodů. Mohou způsobit též ztráty typu L1 a za okolnostech, kdy stavba uchovává dobytek, ztráty typu L4 s možnými ztrátami zvířat.
- R_B : součást rizika vztažená k hmotné škodě působením nebezpečným jiskřením uvnitř stavby, které zapříčiní vznik požáru nebo výbuchu. Uvažují se tak všechny typy ztrát L1 až L4.
- R_C : součást rizika představující poruchy vnitřních systémů způsobené elektromagnetickým impulzem vyvolaným bleskem (LEMP). U každého případu mohou nastat ztráty typu L2 a L4. V případě nemocnic, objektů s rizikem výbuchu a jiných staveb, u kterých porucha vnitřních systémů ohrožuje lidské životy, se uvažuje i se ztrátou typu L1.

Součást rizika následkem úderů v blízkosti stavby (S2)

- R_M : součást rizika představující poruchy vnitřních systémů způsobené LEMP. U každého případu mohou nastat ztráty typu L2 a L4. V případě nemocnic, objektů s rizikem výbuchu a jiných staveb, u kterých porucha vnitřních systémů ohrožuje lidské životy, se uvažuje i se ztrátou typu L1.

Součásti rizika následkem úderů do připojeného vedení (S3)

- R_U : součást rizika vztažená k úrazu živých bytostí elektrickým proudem při dotykovém a krokovém napětí uvnitř stavby zapříčiněným bleskovým proudem injektovaném do připojeného vedení stavby. Mohou zde vzniknout ztráty typu L1 a u zemědělských staveb navíc ztráty typu L4 s možnými ztrátami zvířat.

- R_V : součást rizika zastupující hmotné škody (požár či výbuch iniciované nebezpečným jiskřením mezi venkovní instalací a kovovými částmi stavby), způsobené přeneseným bleskovým proudem přes nebo podél vstupujícího vedení. Zde mohou nastat všechny typy ztrát (L1, L2, L3, L4).
- R_W : součást rizika náležející k poruše vnitřních systémů způsobené přepětími indukovanými do vstupních vedení a přenesenými do stavby. V každém případě mohou nastat ztráty typu L2 a L4. U nemocnic, objektů s rizikem výbuchu a jiných staveb, u kterých porucha vnitřních systémů ohrožuje lidské životy, se uvažuje i se ztrátou typu L1.

Součásti rizika s následkem úderů v blízkosti připojeného vedení (S4)

- R_Z : součást rizika náležející k poruše vnitřních systémů způsobené přepětími indukovanými do vstupních vedení stavby. V každém případě mohou nastat ztráty typu L2 a L4. U nemocnic, objektů s rizikem výbuchu a jiných staveb, u kterých porucha vnitřních systémů ohrožuje lidské životy, se uvažuje i se ztrátou typu L1.

Skládání součástí rizika

Zde jsou přiřazené součásti rizika, popsané v předchozí části, ke každému typu ztrát ve stavbě. Výpočty každé součásti jsou vypsány v části podkapitoly 2.3.3.

- R_1 : riziko ztrát na lidských životech:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1} + R_{M1} + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1} + R_{Z1} \quad (2.1)$$

Součásti rizika R_{C1} , R_{M1} , R_{W1} , R_{Z1} se uvažují pouze u nemocnic, objektů s rizikem výbuchu a jiných staveb, u kterých porucha vnitřních systémů ohrožuje lidské životy.

- R_2 : riziko ztrát na veřejných službách:

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2} \quad (2.2)$$

- R_3 : riziko ztrát na kulturním dědictví:

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3} \quad (2.3)$$

- R_4 : riziko ztrát ekonomických hodnot:

$$R_4 = R_{A4} + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} \quad (2.4)$$

Součásti rizika R_{A4} , R_{U4} se uvažují jen u staveb s možnými ztrátami na zvířatech.

2.2 Základní postupy řízení rizika

Pro správné vyhodnocení rizik musí být dodržen následující postup:

- Identifikace a charakterizace chráněné stavby,
- Určení každého typu ztrát v objektu společně s příslušnými odpovídajícími riziky R (R_1 až R_4),
- Pro každý typ ztrát stanovit rizika R_1 až R_4 ,
- Porovnáním rizika R_1 , R_2 a R_3 s přípustným rizikem R_T zhodnotit potřeby ochrany,
- Zhodnocení efektivity nákladů na ochranu komparací nákladů na celkové ztráty s a bez ochranných opatření. K tomuto kroku je nutné provést odhad součástí rizika R_4 ,

Stavba uvažovaná pro ocenění rizika zahrnuje:

- samotnou stavbu,
- instalace uvnitř stavby,
- obsah stavby,
- osoby uvnitř stavby a v zónách do 3 m od vnější části stavby,
- prostředí, jež může být ovlivněné poškozením stavby.

Uvažovaná stavba může být rozdělena do více zón. Ochrana neuvažuje připojená vedení mimo stavbu.

2.2.1 Přípustné riziko R_T

Přípustné riziko R_T je důležitý parametr, již popsany v kapitole 1.2. V tabulce 2.1 jsou uvedeny typické hodnoty přípustných rizik.

Tab. 2.1: Hodnoty přípustného rizika[2]

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

Pro ekonomické ztráty L4 je odlišný postup vyhodnocení, daný porovnáním nákladů na ochranná opatření a možnými ztráty ve stavbě.

Hodnota rizika je převrácenou hodnotou doby, za kterou dojde ke škodě. Například na veřejné službě je tomu jednou za tisíc let.

2.2.2 Postup pro ocenění efektivity nákladů na ochranu

Při vyhodnocování opatření pro snížení rizik na přijatelnou hodnotu je taktéž věcně zohlednit nákladovou efektivnost instalace ochranných opatření za účelem snížení ekonomických ztrát.

Odhad součástí rizika R_4 napomáhá ocenit náklady na ekonomické ztráty s přijatelnými ochrannými opatřeními a bez nich.

Ke zjištění efektivity nákladů slouží následující postup:

- pro riziko R_4 určit dílčí součásti rizika (R_X),
- výpočet určených součástí R_X , při absenci nových nebo dodatečných ochranných opatření,
- výpočet ročních nákladů na ztráty zapříčiněné příslušnými součástmi R_X ,
- výpočet ročních nákladů C_L na celkové ztráty v případě nechráněné stavby,
- přijetí vybraných ochranných opatření,
- výpočet součástí rizika R_X při použití vybraných opatření,
- výpočet ročních nákladů C_{RL} na zbytkové ztráty v případě použití vybraných opatření,
- výpočet ročních nákladů C_{PM} na vybraná ochranná opatření,
- komparace nákladů.

Ochranné opatření se nepovažuje za nákladově efektivní při splnění podmínky:

$$C_L < C_{RL} + C_{PM} \quad (2.5)$$

Ekonomicky výhodné opatření se lze považovat při splnění podmínky:

$$C_L \geq C_{RL} + C_{PM} \quad (2.6)$$

2.3 Výpočet rizika

Tato podkapitola pojednává o obecném postupu výpočtu rizik podle platné normy [2]. Vyhodnocením těchto výpočtů se dále určují případná ochranná opatření, jsou-li nutná.

2.3.1 Sběrné plochy

Sběrná oblast osamocené jednoduché stavby (m^2)

$$A_D = L \cdot W + 2 \cdot (3 \cdot H) \cdot (L + W) + \pi \cdot (3 \cdot H)^2, \quad (2.7)$$

kde L je délka (m), W je šířka (m) a H je výška (m) stavby.

Sběrná oblast stavby se složitým tvarem (m²)

Uplatňuje se u staveb, které mají zvýšenou střešní nástavbu. Celková sběrná plocha stavby se určuje zejména grafickou metodou, kdy se sjednotí plochy jednoduché stavby a její nástavby.

$$A'_D = \pi \cdot (3 \cdot H_P)^2, \quad (2.8)$$

kde H_P je výška nástavby od země (m).

Sběrná oblast úderů blesku ve vzdálenosti 500 m od stavby (m²)

$$A_M = 2 \cdot 500 \cdot (L + W) + \pi \cdot 500^2 \quad (2.9)$$

Sběrná oblast úderů zasahujících vedení (m²)

$$A_L = 40 \cdot L_L, \quad (2.10)$$

kde L_L je délka (m) sekce vedení.

2.3.2 Odhad ročních počtů nebezpečných událostí N_X

Každá lokalita má specifickou četnost úderů blesků, tím ohrožuje stavby a zejména osoby vyskytující se v dané oblasti. Proto tuto skutečnost je nutné zahrnout ve výpočtech možných rizik před vlivem atmosférického blesku.

Počet úderů blesku do země na km²

$$N_G \approx 0,1 \cdot T_D, \quad (2.11)$$

kde T_D je počet bouřkových dnů v oblasti stavby určené z izokeraunické mapy.

Počet nebezpečných událostí pro stavbu za rok

$$N_D = N_G \cdot A_D \cdot C_D \cdot 10^{-6}, \quad (2.12)$$

kde N_G je počet úderů blesku do země (rok·km²), A_D je sběrná plocha stavby (m²) a C_D je činitel polohy stavby (-).

Počet nebezpečných událostí pro sousedící stavbu

$$N_{DJ} = N_G \cdot A_{DJ} \cdot C_{DJ} \cdot C_T \cdot 10^{-6}, \quad (2.13)$$

kde A_{DJ} je sběrná plocha osamocené sousedící stavby (m²), C_{DJ} je činitel polohy stavby (-) a C_T je činitel typu vedení (-).

Počet nebezpečných událostí způsobených úderem poblíž stavby

$$N_M = N_G \cdot A_M \cdot 10^{-6}, \quad (2.14)$$

kde A_M je sběrná oblast úderů v blízkosti stavby (m^2).

Počet nebezpečných událostí způsobených úderem do vedení

$$N_L = N_G \cdot A_L \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6}, \quad (2.15)$$

kde N_L je počet přepětí o amplitudě větší než 1 kV za rok do sekce vedení, A_L je sběrná plocha úderů zasahující vedení (m^2), C_I je činitel polohy vedení (-) a C_E je činitel prostředí (-).

Počet nebezpečných událostí způsobených úderem poblíž vedení

$$N_I = N_G \cdot A_I \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6}, \quad (2.16)$$

kde N_I je počet přepětí o amplitudě větší než 1 kV za rok na sekci vedení, A_I je sběrná plocha úderů do země poblíž vedení (m^2) a C_I je činitel instalace vedení (-).

2.3.3 Stanovení součástí rizika

Všechny součásti rizika, popsané v podkapitole 2.1, lze vyjádřit zjednodušeně vyjádřit obecnou rovnicí:

$$R_X = N_X \cdot P_X \cdot L_X, \quad (2.17)$$

kde N_X je počet nebezpečných událostí za rok (viz část podkapitoly 2.3.2), P_X je pravděpodobnost poškození stavby (viz podkapitola 2.4) a L_X jsou následné ztráty (viz podkapitola 2.5).

Součásti souvisejících s příčinou S1

Ovlivňující škodu D1:

$$R_A = N_D \cdot P_A \cdot L_A \quad (2.18)$$

Ovlivňující škodu D2:

$$R_B = N_D \cdot P_B \cdot L_B \quad (2.19)$$

Ovlivňující škodu D3:

$$R_C = N_D \cdot P_C \cdot L_C, \quad (2.20)$$

Součásti související s příčinou S2

Uplatňuje se pouze u škody D3.

$$R_M = N_M \cdot P_M \cdot L_M \quad (2.21)$$

Součásti související s příčinou S3

Ovlivňující škodu D1:

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_U \cdot L_U \quad (2.22)$$

Ovlivňující škodu D2:

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_V \cdot L_V \quad (2.23)$$

Ovlivňující škodu D3:

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_W \cdot L_W \quad (2.24)$$

Součásti související s příčinou S4

Ovlivňuje pouze škodu D3

$$R_Z = N_I \cdot P_Z \cdot L_Z \quad (2.25)$$

2.4 Odhad pravděpodobností P_x škod způsobené úderem blesku

Tato podkapitola pojednává s jakou pravděpodobností způsobí úder blesku do stavby, poblíž stavby, do vedení nebo poblíž vedení, určitou škodu.

Pravděpodobnost P_A

Pravděpodobnost úrazu živých bytostí vlivem dotykového a krokového napětí při úderu blesku do stavby je závislé na instalovaném LPS a jiných doplňujících opatření.

$$P_A = P_{TA} \cdot P_B, \quad (2.26)$$

kde P_{TA} je související pravděpodobnost, ovlivněná doplňujícím ochranným opatřením a P_B je pravděpodobnost hmotné škody zapříčiněné úderem do stavby v závislosti na použitém LPS.

Pravděpodobnost P_C

Ke snížení pravděpodobnosti, že úderem blesku do stavby dojde k poruše vnitřních systémů, je účinné použití koordinovaného systému SPD. Pravděpodobnost je dána vztahem:

$$P_C = P_{SPD} \cdot C_{LD}, \quad (2.27)$$

kde P_{SPD} je související pravděpodobnost, závislejší na použitém koordinovaném systému SPD a hladině ochrany LPL a C_{LD} je činitel určený stíněním (-), uzemněním a podmínkách izolování vedení, ke kterému je vnitřní systém připojen.

Pravděpodobnost P_M

K omezení této pravděpodobnosti, že úderem poblíž stavby dojde k poruše vnitřních

systemů, je využíváno mřížové LPS, stínění, zajištění tras, vyšší výdržné napětí, oddělovací rozhraní a koordinované systémy SPD.

V případech, že není proveden dostatečný koordinovaný systém SPD, hodnota P_M je rovna P_{MS} . V opačném případě je hodnota P_M získána rovnicí:

$$P_M = P_{SPD} \cdot P_{MS}, \quad (2.28)$$

kde P_{MS} je snižující pravděpodobnost dle rovnice závislé na instalaci, výdržném napětí a stínění a získá se:

$$P_{MS} = (K_{S1} \cdot K_{S2} \cdot K_{S3} \cdot K_{S4})^2, \quad (2.29)$$

kde činitel K_{S1} (-) vyjadřuje účinnost stínění stavby, činitel K_{S2} (-) vyjadřuje účinnost stínění uvnitř stavby, činitel K_{S3} (-) vyjadřuje charakteristiku kabeláže a činitel K_{S4} (-) vyjadřuje výdržné impulsní napětí systému.

Pravděpodobnost P_U

Parametry pravděpodobnosti P_U úrazu uvnitř stavby vlivem dotykového napětí při úderu do vedení vstupujícího do stavby závisí na stínění této sítě, výdržném impulzním napětí vnitřních systémů a ochranných opatřeních. Hodnota P_U je vypočtena:

$$P_U = P_{TU} \cdot P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD}, \quad (2.30)$$

kde P_{TU} je související pravděpodobnost, ovlivněná využitím fyzických zábran či výstražných nápisů, P_{EB} je související pravděpodobnost závislá na EB a na LPL pro navržené SPD, P_{LD} v závislosti na charakteristikách vedení vyjadřuje pravděpodobnost poruchy vnitřních systémů.

Pravděpodobnost P_V

Hodnoty pravděpodobnosti, že úderem blesku do vedení dojde k hmotné škodě, ovlivňuje stínění zasaženého vedení, impulzní výdržné napětí vnitřních systémů a oddělovací rozhraní či SPD instalovaných pro ekvipotenciální pospojování na vstupu vedení. Hodnota P_V je určena:

$$P_V = P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (2.31)$$

Pravděpodobnost P_W

Výsledek pravděpodobnosti, že úderem blesku do vedení dojde k poruše vnitřních systémů, závisí na vlastnostech stínění sítě, na impulzním výdržném napětí systémů připojených k této síti a na oddělovacím rozhraní nebo instalovaném SPD. Hodnota P_W je získána:

$$P_W = P_{SPD} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (2.32)$$

Pravděpodobnost P_Z

Pravděpodobnost, že úder poblíž vedení zapříčiní poruchu vnitřních systémů, souvisí se stíněním tohoto vedení, impulzním výdržným napětí vnitřních systémů a s oddělovacím rozhraním nebo provedeném SPD. Její hodnota je dána:

$$P_Z = P_{SPD} \cdot P_{LI} \cdot C_{LI}, \quad (2.33)$$

kde P_{LI} závisí na charakteristikách daného vedení a C_{LI} (-) je činitel závislý na stínění, uzemnění a izolaci vedení.

2.5 Odhad rozsahu ztrát L_X

Ztráta L_X pojednává střední poměrný rozsah určitého typu škody, zapříčiněný úderem blesku. V potaz je brán rozsah a účinky úderu. Jednotlivé typy ztrát jsou již vypsány v podkapitole 1.1.

2.5.1 Ztráta lidského života L_1

Ztráty jsou vypočteny separátně pro každou zónu, do kterých je objekt rozdělen. Také má vlastní rovnici pro každý typ škody.

Ztráty na životech související s typem škody D_1

$$L_{A1} = r_t \cdot L_{T1} \cdot \frac{n_{z1}}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760}, \quad (2.34)$$

kde L_{A1} je ztráta lidského života v důsledku úderu blesku do stavby, r_t (-) je činitel snižující ztráty životů v závislosti na typu půd a podlah zóny, L_{T1} je typický střední počet obětí úrazu elektrickým proudem, n_z je počet osob v zóně, n_t je celkový počet osob ve stavbě a t_z je čas v hodinách za rok, kdy jsou osoby přítomné v zóně.

Stejně hodnotě se rovná i ztráta na životech L_{U1} v důsledku úderu blesku do vedení.

Ztráty na životech související s typem škody D_2

$$L_{B1} = r_{p1} \cdot r_{f1} \cdot h_z \cdot L_{F1} \cdot \frac{n_{z1}}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760}, \quad (2.35)$$

kde L_{B1} je ztráta v důsledku důsledku úderu do stavby, r_p (-) je činitel snižující ztráty v závislosti na použitých opatření ke snížení následků požáru, r_{f1} (-) je snižující činitel ztrát závislé na riziku požáru či výbuchu, h_z (-) je zvyšující činitel ztrát v případě zvláštních nebezpečí, L_{F1} je typický střední počet obětí způsobený hmotnou škodou.

Výpočet je totožný i pro ztrátu L_{V1} , v důsledku úderu blesku do vedení.

Ztráty na životech související s typem škody D_3

$$L_{C1} = L_{O1} \cdot \frac{n_z}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760}, \quad (2.36)$$

kde L_{C1} je riziko ztrát na životech v důsledku úderu do stavby, L_{O1} je typický střední počet obětí způsobený poruchou vnitřních systémů.

Tato rovnice (2.36) platí i pro ztráty L_{M1} související s úderem v blízkosti stavby, L_{W1} následkem úderu blesku do vedení a L_{Z1} v důsledku úderu blesku v blízkosti vedení.

2.5.2 Ztráta veřejné služby L2

Ztráty veřejné služby jsou vztaženy na typy škod následovně.

Ztráty veřejných služeb související s typem škody D_2

$$L_{B2} = r_{p2} \cdot r_{f2} \cdot L_{F2} \cdot \frac{n_{z2}}{n_t}, \quad (2.37)$$

kde L_{B2} je ztráta zapříčiněná úderem do stavby, r_{p2} (-) je snižující činitel ztrát v závislosti na použitých opatření ke snížení následků požáru, r_{f2} (-) je snižující činitel ztrát v závislosti na riziku požáru, L_{F2} je typické střední procento neobsloužených uživatelů, n_{z2} je počet obsluhovaných uživatelů v zóně a n_t je celkový počet obsluhovaných uživatelů ve stavbě.

Rovnice 2.37 je rovna i pro hodnotu ztrát L_{V2} v důsledku úderu do vedení.

Ztráty veřejných služeb související s typem škody D_3

$$L_{C2} = L_{O2} \cdot \frac{n_{z2}}{n_t}, \quad (2.38)$$

kde L_{C2} je ztráta způsobena úderem do stavby, L_{O2} je typické střední procento neobsloužených uživatelů.

Stejně hodnoty nabývají ztráty: L_{M2} v důsledku úderu v blízkosti stavby, L_{W2} v důsledku úderu do vedení a L_{Z2} v důsledku úderu poblíž vedení

2.5.3 Ztráta ekonomických hodnot L4

Určení ztrát ekonomických hodnot se provádí těmito výpočty.

Ztráty L_{A4} ekonomických hodnot související s typem škody D_1 , v důsledku úderu do stavby

$$L_{A4} = r_t \cdot L_{T4} \cdot \frac{c_a}{c_t}, \quad (2.39)$$

kde L_{T4} je typická procentní hodnota všeho majetku poškozeného elektrickým šokem, c_a značí hodnotu zvířat v zóně a c_t je celková hodnota stavby a jejího obsahu.

Ztráty L_{U4} ekonomických hodnot související s typem škody D_1 , v důsledku úderu do vedení

$$L_{U4} = r_t \cdot L_{T4} \cdot \frac{c_a}{c_t} \quad (2.40)$$

Ztráty ekonomických hodnot související s typem škody D_2

$$L_{B4} = r_{p4} \cdot r_t \cdot L_{F4} \cdot \frac{c_a + c_b + c_c + c_s}{c_t}, \quad (2.41)$$

kde L_{B4} je ztráta způsobena úderem blesku do stavby, r_{p4} (-) je činitel snižující ztráty na základě instalovaných opatření ke snížení následků požáru, L_{F4} je typická střední hodnota veškerého majetku poškozeného hmotnou škodou, c_b je hodnota budov patřících k zóně, c_c je hodnota obsahu zóny, c_s značí hodnotu vnitřních systémů v zóně včetně jejich činnosti.

Výsledek je shodný i pro ztrátu L_{V4} zapříčiněnou úderem do vedení.

Ztráty ekonomických hodnot související s typem škody D_3 :

L_{C4} v důsledku úderu do stavby L_{M4} v důsledku úderu poblíž stavby, L_{W4} v důsledku úderu do vedení a L_{Z4} v důsledku úderu poblíž vedení

$$L_{C4} = L_{M4} = L_{W4} = L_{Z4} = L_{O4} \cdot \frac{c_s}{c_t}, \quad (2.42)$$

kde L_{O4} je typická střední hodnota všeho majetku poškozeného poruchou systémů, zbylé části byly již vysvětleny u předchozích rovnic.

2.6 Ocenění nákladů na ztráty

Ocenění nákladů na ztráty se uvažuje k ekonomickému odůvodnění návrhu ochranného opatření, kdy částka vynaložená k ochraně nesmí přesahovat hodnotu možných ztrát.

Náklady C_{LZ} na celkové ztráty v zóně

$$C_{LZ} = R_{4z} \cdot c_t, \quad (2.43)$$

kde R_{4Z} je riziko vyjadřující ztrátu hodnot v nechráněné zóně.

Náklady C_L na celkové ztráty ve stavbě

$$C_L = \sum C_{LZ} = R_4 \cdot c_t, \quad (2.44)$$

kde $R_4 = \sum R_{4Z}$ je riziko vyjadřující ztrátu hodnot v nechráněné stavbě.

Náklady C_{RLZ} na zbytkové ztráty v zóně

$$C_{RLZ} = R_{4z'} \cdot c_t, \quad (2.45)$$

kde $R_{4z'}$ je riziko vyjadřující ztrátu hodnot v chráněné zóně.

Celková cena C_{RL} zbytkových ztrát

$$C_{RL} = \sum C_{RLZ} = R_{4'} \cdot c_t, \quad (2.46)$$

kde $R_{4'} = \sum R_{4z'}$ je riziko vyjadřující ztrátu hodnot v chráněné stavbě.

Roční náklady C_{PM} na ochranné opatření

$$C_{PM} = C_P \cdot (i + a + m), \quad (2.47)$$

kde C_P je cena ochranných opatření, i je úroková míra, a je odpisová míra a m je míra údržby.

Roční úspora S_M v penězích

$$S_M = C_L - (C_{PM} + C_{RL}), \quad (2.48)$$

Je-li výsledná roční úspora kladná $S_M > 0$, je ochranné opatření opodstatněné.

3 Ochrana před bleskem

Před možnými hmotnými škodami a o ztrátou na životech je nejefektivnější ochranné řešení použití LPS, které lze dělit na dvě části. A to vnitřní a vnější systém pro ochranu stavby před úderem blesku. Tato kapitola pojednává o metodách návrhu vnější jímací soustavy a příslušejících požadavků, možností snížení škod a účinků bleskového proudu uvnitř stavby v souladu s normou ČSN EN 62305-3 ed.2 [3].

3.1 Vnější systém ochrany před bleskem

Účel instalace vnějšího LPS je zpracovat a svést do země přímé údery bleskového proudu mířené do stavby a do boků stavby. Rozvede tak bleskový proud do země, aniž by došlo k nebezpečnému jiskření, tepelným a mechanickým škodám, jež by mohly způsobit požár či výbuch.

Jak bylo řečeno v podkapitole 1.4, každé hladině LPL náleží třída LPS, ta je určena charakteristickým využitím stavby. Způsob přiřazení LPS k typickému objektu zobrazuje orientační tabulka 3.1.

Tab. 3.1: Druhy objektu dle LPS, modifikováno z [5]

| Třída LPS | Druh objektu |
|-----------|---|
| I | nemocnice, energetické zdroje, budovy s prostředím s nebezpečím výbuchu, provozovny s chemickou výrobou, plynárny, vodárny, elektrárny, banky, stanice mobilních operátorů, automobilky, budovy se zvláště náročnou výrobou |
| II | muzea, školy, katedrály, supermarkety, rodinné domy s nadstandardní výbavou |
| III | rodinné domy, obytné budovy, zemědělské stavby, administrativní budovy |
| IV | budovy stojící v ochranném prostoru jiných objektů (nemají vlastní hromosvod), obyčejné sklady a jiné stavby a haly bez trvalého výskytu osob a vnitřního vybavení |

Instalace vnějšího LPS smí být přímo uchycena na chráněné stavbě, také lze využít i tzv. oddálený (izolovaný) systém. Ten se uplatňuje primárně u staveb, kde by účinky blesku do místa úderu nebo vodiče jímače mohly způsobit škody na stavbě. Obvyklým příkladem jsou stavby s hořlavým materiálem na vnějších částech stavby (střešní krytina, stěny) nebo objekty s nebezpečím výbuchu. Uplatní se i u staveb, u nichž se předpokládá s přestavbou. Výhodou je také snížení působení elektromagnetických účinků na vnitřní systémy.

Jímací soustavou je zajištěné snížení pravděpodobnosti průniku bleskového proudu do stavby. Lze ji zhotovit tyčemi nebo samostatnými stožáry, zavěšenými lany, mřížovými vodiči a jejich kombinacemi. Komponenty jímací soustavy na střeše musí být dostatečně spojeny pro spolehlivé rozdělení bleskového proudu.

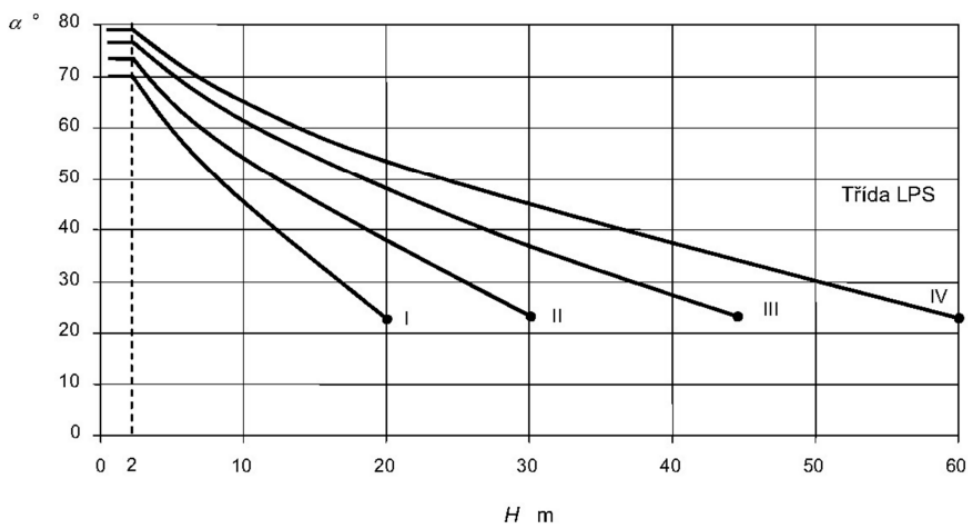
Pozice a umístění instalovaných komponent jímací soustavy na střeše musí být na exponovaných místech, hranách, rozích a zejména u horních částí fasád. Stanovení pozice jímací soustavy je možné těmito metodami:

- metoda ochranného úhlu,
- metoda valivé koule,
- metoda mřížové soustavy

Metoda ochranného úhlu se uplatňuje u řešení budov s jednoduchým tvarem, nesmí být použita v případě, kdy je výška budovy (H) vyšší než poloměr valící se koule (r). Jejich parametry jsou pro jednotlivé třídy LPS definovány v tabulce 3.2. Obrázek 3.1 definuje velikost ochranného úhlu v závislosti na výšce budovy pro každou z tříd LPS.

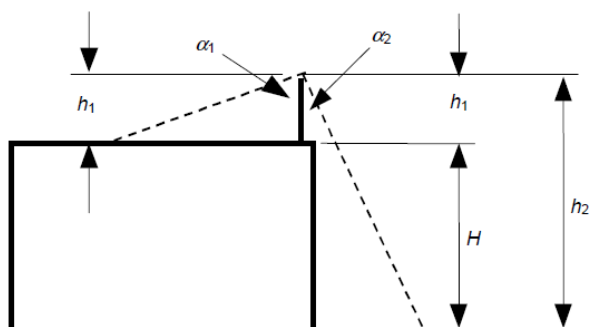
Tab. 3.2: Parametry přiřazené k třídám LPS

| Třída LPS | Minimální vrcholový proud I (kA) [1] | Poloměr valící se koule r (m) [3] | Velikost ok w_m (m) [3] |
|-----------|--|-------------------------------------|---------------------------|
| I | 3 | 20 | 5x5 |
| II | 5 | 30 | 10x10 |
| III | 10 | 45 | 15x15 |
| IV | 16 | 60 | 20x20 |



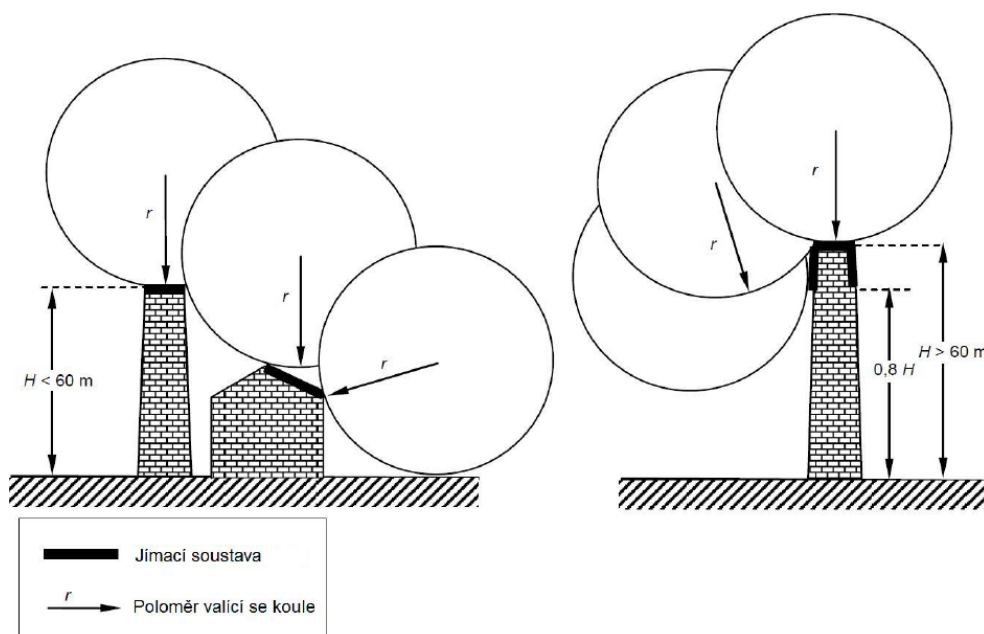
Obr. 3.1: Ochranný úhel odpovídajícím třídám LPS [6]

Svislé jímací tyče vytvoří ochranný prostor s polovičním vrcholovým ochranným úhlem α , závislý na výšce jímače a třídě LPS. Obrázek 3.2 ukazuje velikost ochranného úhlu v závislosti na referenční rovinu. Úhel α_1 přísluší výšce jímače h_1 , což představuje výšku nad povrchem střechy. Úhel α_2 je ochranný úhel příslušející výšce $h_2 = h_1 + H$ kde H je výška budovy.



Obr. 3.2: Chráněný prostor svislé jímací tyče [3]

Metoda valící se koule je nejvhodnějším řešením pro jakýkoli typ stavby, obzvláště u komplexních objektů. Jestliže žádný bod chráněného prostoru není v kontaktu s koulí, umístění jímací soustavy pomocí této metody je vyhovující. Způsob grafického řešení metody je ilustrováno na obrázku 3.3. Poloměr valící se koule r (m) je pro každou třídu LPS definován v tabulce 3.2 a představuje závislost na vrcholové hodnotě bleskového proudu $r = 10 \cdot I^{0,65}$, kde I je v kA.



Obr. 3.3: Použití metody valící se koule, převzato z [3]

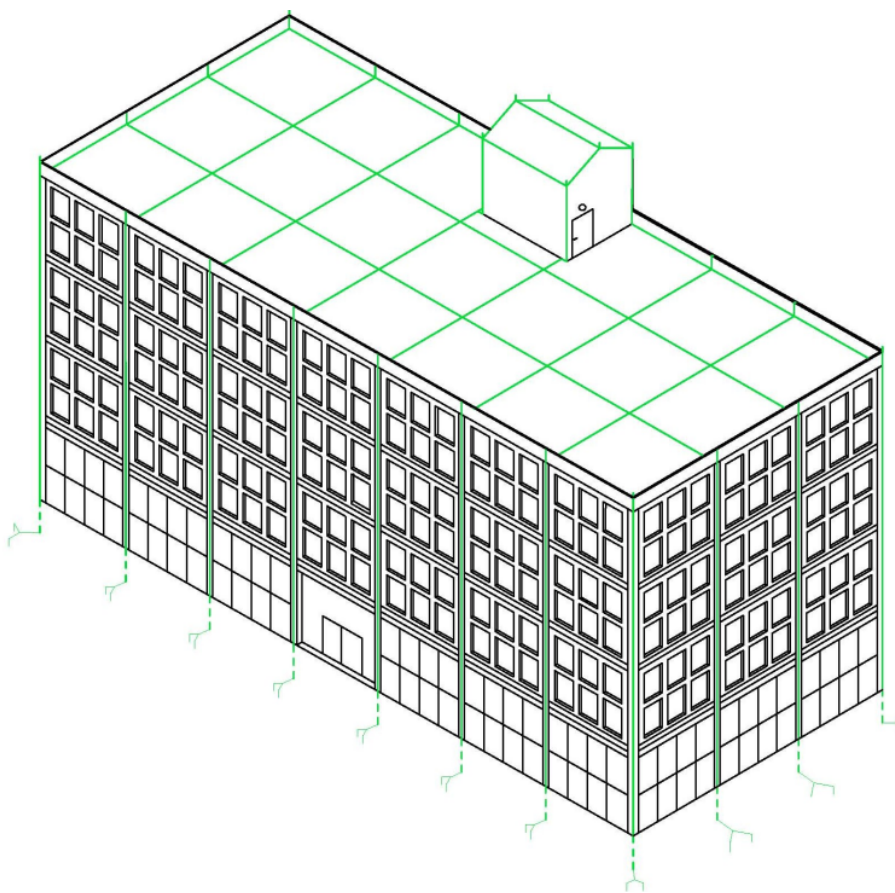
V případě, že je stavba vyšší než poloměr valící se koule, roste pravděpodobnost úderu blesku do boku stavby. U budov o výšce do 60 m je pravděpodobnost zanedbávána. Jak je dále znázorněno na obrázku 3.3, u vysokých staveb je metoda valící se koule používána pouze k umístění jímací soustavy obvykle jen od výšky 80 % stavby.

U rovinných ploch je pak nejvýhodnější použití **metody mřížové soustavy**. Taktéž se uplatňuje k ochranně bočních ploch stavby, jak již bylo zmíněno výše. Mřížová soustava, jak lze vidět na obrázku 3.4, představuje kombinaci sítovitě vzájemně propojených jímacích vodičů vytvářejících ochranný prostor.

Správné a efektivní umístění jímací soustavy musí být na:

- okrajích střechy,
- vnějších hranách stavby,
- převislech stavby a střešních hřebenech při sklonu větším 1/10.

Sít také musí umožnit průchodu bleskového proudu dvěma různými kovovými drahami k zemi a také nesmí mimo chráněný prostor vyčnívat kovové části stavby. Rovněž musí mřížová soustava, na základě třídy LPS, dodržet definované maximální rozměry ok w_m (m) sítě, viz tabulka 3.2.



Obr. 3.4: Způsob instalace mřížové soustavy [7]

Soustava svodů

Účelem soustavy svodů je svést nebezpečný bleskový proud co nejkratší vodivou cestou do země. Možné nebezpečí bočních úderů a vlivu elektromagnetického pole uvnitř stavby lze snížit vhodným umístěním a vyšším počtem svodů, pokud možno rovnoměrně a symetricky. Zároveň vzájemným ekvipotenciálním pospojování svodů obvodovými vodiči.

Umístění svodů by také mělo být v dostatečné vzdálenosti od vnitřních obvodů a kovových konstrukcí, pokud nejsou využity jako náhodné svody, aby se zamezilo možnému ekvipotenciálnímu pospojování s LPS. Mezi další podmínky umístění svodů je důležitá co nejkratší možná délka svodů a dodržení maximální vzdálenosti mezi svody viz tabulka 3.3.

Uchycení svodů a jímací soustavy musí být dostatečně pevné, k znemožnění jeho zlomení nebo uvolnění vlivem působení elektrodynamických či mechanických sil. Spoje součástí LPS musí být taktéž pevné a jejich počet minimální.

Tab. 3.3: Obvyklé vzdálenosti mezi svody v závislosti na třídu LPS [3]

| Třída LPS | Typické vzdálenosti (m) |
|-----------|-------------------------|
| I | 10 |
| II | 10 |
| III | 15 |
| IV | 20 |

Součástí návrhu vnější LPS je tzv. elektrická izolace mezi vnější částí jímací soustavy a vnitřními kovovými částmi stavby nebo instalacemi a vnitřními systémy. Zajištění této izolace určuje dostatečná vzdálenost s (m) pro kterou platí výpočet:

$$s = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_c \cdot l, \quad (3.1)$$

kde k_i je koeficient určený podle třídy LPS, k_m je koeficient vyjadřující elektrickou izolaci materiálu, k_c je koeficient závisející na počtu svodů a l je délka (m) jímací soustavy a svodu od zjišťovaného bodu k nejbližšímu bodu zemnicí soustavy nebo ekvipotenciálního pospojování.

U staveb s kovovou nebo železobetonovou konstrukcí s vodivě propojeným ocelovým armováním se nemusí dostatečná vzdálenost dodržovat.

3.2 Vnitřní systém ochrany před bleskem

Průchod bleskového proudu vnějším LPS nebo jiných vodivých částí stavby může vést k vzniku nebezpečného jiskření uvnitř stavby. Systém vnitřní ochrany má těmto

situacím zabránit. Jiskření může vzniknout průchodem bleskového proudu: kovovými částmi instalace, vnitřními systémy nebo připojeným vedením.

Účinným řešením je provedení ekvipotenciálního pospojování pro vyrovnání potenciálu mezi vnitřní a vnější částí LPS. Uplatňuje se i izolace mezi jímací soustavou, svody a vodivými částmi stavby s vnitřními systémy.

Ekvipotenciální pospojování

Zajištění stejného potenciálu mezi vnější a vnitřní částí LPS je dosaženo propojením:

- kovových instalací,
- vnitřních systémů,
- vedení spojených s objektem,
- vodivých vnějších částí stavby.

Je důležité provést pospojování nejkratším a nejpřímějším způsobem. Pospojování s inženýrskými sítěmi nebo rozvody plynu musí být projednáno s provozovateli těchto služeb, aby byly dodrženy jejich požadavky na instalaci.

Je-li instalován oddálený (izolovaný) vnější LPS, vyrovnání potenciálu jímací soustavy je provedeno pouze na úrovni terénu nebo ve sklepě stavby. Instalace musí být, se záměrem revize, jednoduše přístupná.

Stínění

Stínění představuje seskupení vodivých materiálů, využitých ke snížení působení elektromagnetického pole uvnitř stavby. Principiálně je stínění řešeno obdobnými způsoby jako ekvipotenciální pospojování. Pro účely stínění je využíváno kromě pospojování, například kovového armování betonových konstrukcí stavby, nejčastěji přímé stínění tras kabelů a vodičů.

V návaznosti na tato ochranná opatření jsou v následující kapitole 4 řešeny možnosti ochrany vnitřních systémů.

4 Ochrana elektrických a elektronických systémů

Elektromagnetické účinky úderu blesku mohou způsobit nenávratné poruchy elektronických a elektrických systémů. U systémů, jež například zpracovávají cenná data nebo na jejich správné funkci závisí lidské životy, je obzvlášť kladen důraz na ochranu před poruchami způsobenými LEMP. Touto problematikou se zabývá norma ČSN EN 62305-4 ed.2 [4] popsaná v této kapitole.

K poškození vnitřních systémů vlivem LEMP dochází následkem:

- šířícího se nebo indukovaného přepětí na přívodním vedení,
- vyzařováním elektromagnetického pole přímo v zařízení,

Zapříčinit tyto škody mohou jak přímé údery blesku do stavby nebo vedení, tak i údery nepřímé.

Ochranná opatření vnitřních systémů před LEMP (SPM) by měla být navržena odborníky nejen na ochranu před bleskem, ale i na přepětové ochrany, elektromagnetickou kompatibilitu (EMC) a elektroinstalaci.

Ne všechny vnitřní systémy vyžadují ochranu před LEMP na stejné úrovni. Je to dáno zejména důležitostmi jejich funkce a přepětovou odolností. Na základě těchto skutečností je SPM koncipováno do zón ochrany před bleskem (LPZ). Pomezí jednotlivých LPZ je definováno následovně:

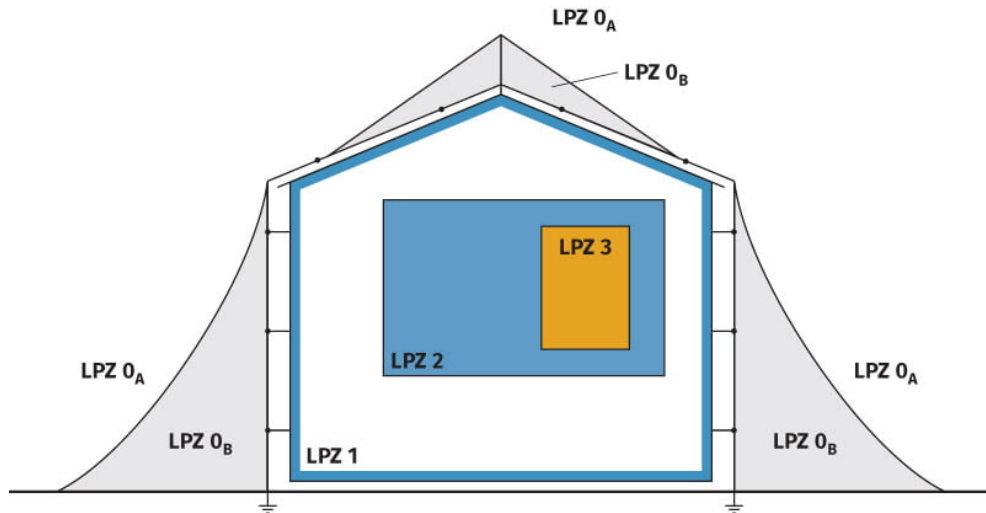
- **LPZ 0_A**: vnější prostor stavby s ohrožením přímého úderu blesku a netlumeným působením elektromagnetického pole a plným bleskovým impulzním proudem,
- **LPZ 0_B**: vnější chráněný prostor stavby, ve kterém jsou vnitřní systémy namáhány jen dílčími bleskovými impulzními proudy, ale stále působí netlumené elektromagnetické pole,
- **LPZ 1**: vnitřní prostor, kde již nehrozí přímý úder blesku, čímž je působení elektromagnetického pole blesku tlumené, impulsní proud je omezen izolačním rozhraním nebo přepětovou ochranou,
- **LPZ 2**: prostor, ve kterém je nutné působení elektromagnetického pole a bleskového impulzního proudu omezit dalšími ochrannými a/nebo prostorovým stíněním.

Pro potřeby ekvipotenciálního pospojování, vedoucí ke snížení impedance soustavy, je nutné pospojování na hranici každé LPZ na přímo nebo přes vhodné SPD.

Zóny je možné nadále stupňovat dle potřeb ochrany zařízení a jeho citlivosti na působení elektromagnetického pole nebo impulzního proudu. Taktéž lze objekt rozdělit na základě rozdílných podlah, či větším rozdílem výskytu osob a hodnotnějšího obsahu v zóně. Obvyklé způsoby pro navržení ochranných opatření jsou pro

jednotlivé LPZ definovány v normě [4].

Grafické znázornění rozdělení objektu podle LPZ na obrázku 4.1 také ilustruje další stupeň zóny LPZ 3, představující zónu s velmi citlivým systémem, u které je nutné zajistit plné stínění v podobě kovové skříně.



Obr. 4.1: Rozdělení LPZ [8]

Koordinovaný systém SPD

V případě, kdy je SPM rozdělena do vyšších zón než LPZ 1, je nutné instalovat na vstupu vedení do každé zóny systém SPD, který zajistí ochranu před účinkem rázových vln na vnitřní systémy. Výběr správného SPD závisí primárně na výdržném impulzním napětí U_W chráněného zařízení a délce propojovacího kabelu k SPD.

Přepětové ochrany se na základě rozdělení objektu do LPZ dělí do tříd, z nichž každá musí být zkoušena na, normou [4] definované, parametry rázových vln. Podle [9] lze třídy SPD dělit následovně:

SPD typ 1 (B)

- představuje hranici mezi LPZ 0 a LPZ 1,
- svodič dílčích bleskových proudů i při přímém úderu blesku,
- vyrovnává potenciály stavby a svádí bleskové proudy rovnoměrně.

SPD typ 2 (C)

- odděluje zóny LPZ 1 a LPZ 2,
- svodič přepětí rozvodů a pevných instalací,
- je schopné svést přepětí vzniklé úderem blesku i spínacími pochody.

SPD typ 3 (D)

- představuje oddělení konečného zařízení od LPZ 2,
- slouží k přepětové ochraně koncových zařízení instalací k zásuvkám,
- schopné svést spínací i bleskové přepětí.

5 Softwarové zhodnocení

Jak již bylo zmíněno v úvodu, na trhu lze nalézt několik softwarových prostředků, které usnadňují práci při vyhodnocování možných rizik a následných opatření před zásahem blesku. Součástí této práce je několik vybraných softwarů zhodnotit a porovnat na základě výpočtů pro zadaný multifunkční objekt.

5.1 DEHNsupport Toolbox

Software DEHNsupport Toolbox umožňuje hned několik matematických výpočtů z oblasti ochrany před bleskem, konkrétně [10]:

- analýzu rizika,
- stanovení bezpečných vzdáleností,
- stanovení výšky jímače,
- určení délky zemniče.

Společnost DEHN dále nabízí nástroj DEHNselect SPD Tool k dimenzování a výběru přístrojů na ochranu před přepětím. Svou komplexností tak přináší projektantům, elektrikářům i výrobcům ochranných přístrojů pohodlné a přehledné řešení v jednotném prostředí [11]. Software je navíc podporován pro mezinárodní použití a řídí se standardy platné pro danou zemi [10].

Podle dostupných informací, které však výrobce na svých webových stránkách neudává, kompletní balíček softwarových prostředků DEHNsupport vyjde na zhruba 10 000 Kč s DPH, v ceně je také jednodenní školení [12], čímž zákazník získá rychlejší přehled ve využitelnosti tohoto softwaru.

Instalace produktů DEHN podporuje operační systém verze Windows 8.1 a novější a pro využití možnosti exportu číselných hodnot vyžadují moduly Microsoft Excel.[13]

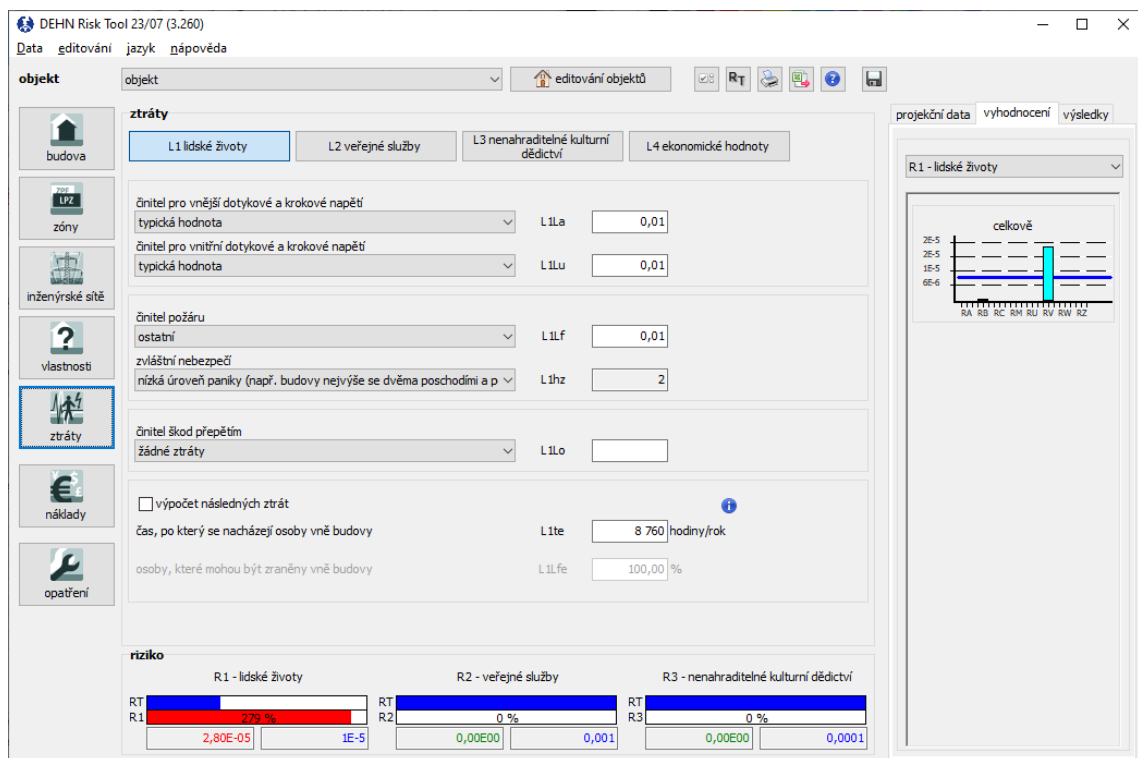
Softwarová sada v jednotném prostředí nabízí využití přehledného managementu zakázek s detailními informacemi a zhotovenými výpočty.

5.1.1 DEHN Risk Tool - Analýza rizika

Před započítáním analýzy se pro výpočetní podklady zvolí norma a její verze, využívaná v zemi plánované výstavby řešeného objektu a podle izokeraunické mapy se určí počet bouřkových dní v oblasti výstavby. Následný výpočet rizika před bleskem v tomto programu je vcelku intuitivní. Kromě základních rozměrů budovy, jako jsou šířka, délka a výška, lze zadat i rozměry komplexní budovy, jak lze vidět na obrázku 6.2. Stavbu lze rozdělit nejen do zón, ale i do zón v zóně.

U DEHNsupport lze využití jednotlivých LPZ charakterizovat separátně, čímž dosáhneme více realitě odpovídajících výsledkům rizik.

Po celý čas výpočtu lze ve spodní části prostředí softwaru, ilustrovaném na obrázku 5.1, vnímat vliv jednotlivých zadávaných hodnot formou pruhových grafů, zobrazujících dovolené a aktuální hodnoty rizik. Dále se při pravé straně uživatelského rozhraní nachází vyhodnocení jednotlivých součástí rizik v podobě sloupcových grafů, nebo zde lze zobrazit výsledné hodnoty činitelů, pravděpodobností, sběrných ploch apod., což může být nápomocné ke kontrole vlastních výpočtů.



Obr. 5.1: Prostředí softwaru DEHN Risk Tool

Jedná-li se o stavbu s rizikem ekonomických ztrát, je k dispozici i výpočet nákladů na ztráty a ochranných opatření. V této části, zobrazené na obrázku 5.2, se vypisují hodnoty majetku v jednotlivých nechráněných zónách řešené stavby. Výstupem zadaných hodnot je vyhodnocena efektivnost instalace ochranných opatření.

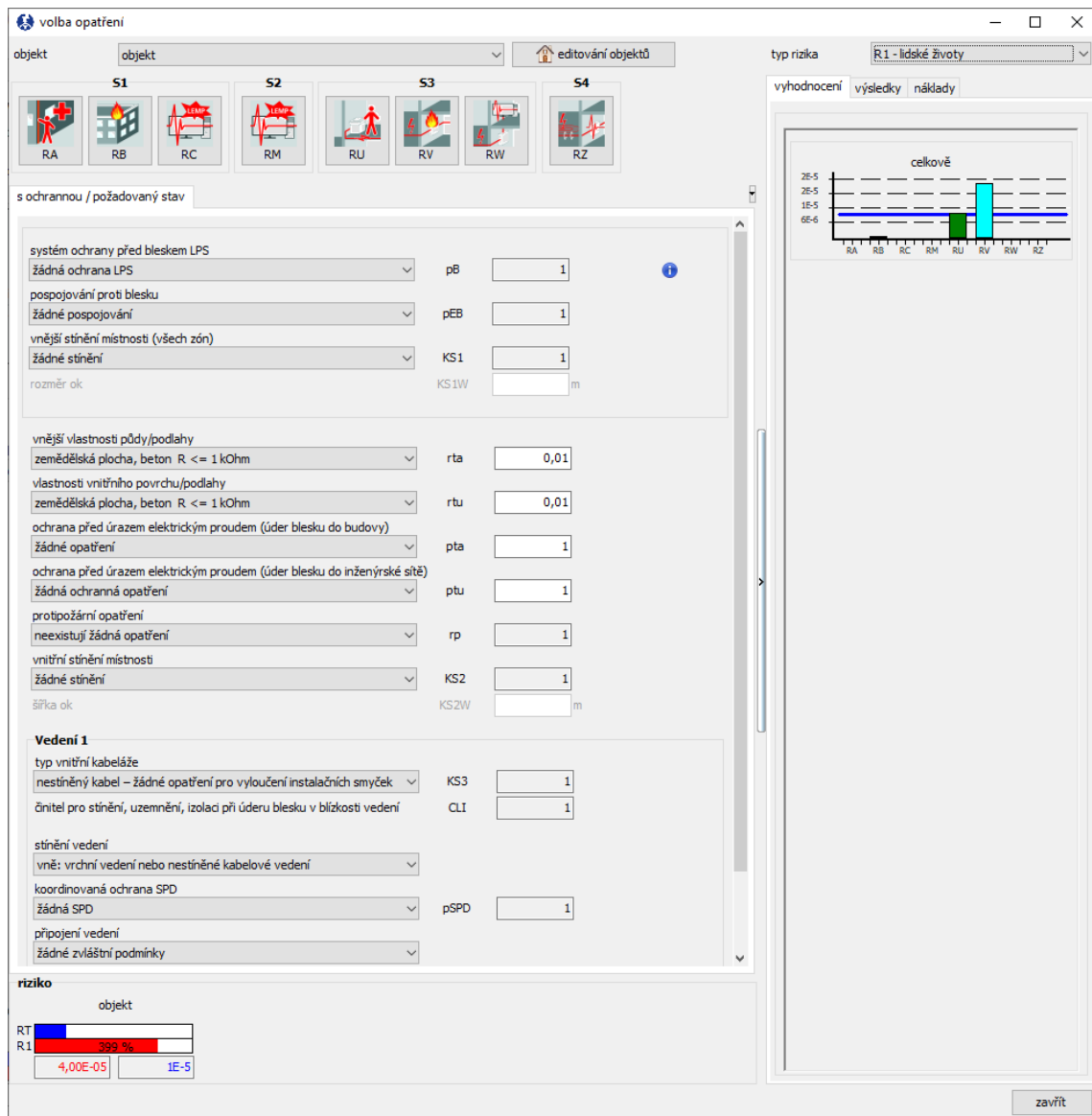
Následná volba potřebných ochranných opatření ke snížení možných nebezpečných událostí pak graficky znázorňuje ovlivnění hodnot a případných opatření každé součásti rizik pomocí sloupcového grafu a graficky ilustrovaných tlačítek, jak je ukázáno na obrázku 5.3. Díky těmto tlačítkům se zobrazí pouze ty parametry, které ovlivňují konkrétní součásti rizik. Je tak umožněna editace například přiřazením vhodné hladiny LPL, změnou použitých ochranných opatření nebo způsobu stínění

vedení. Tyto změny je následně nutné fyzicky aplikovat pro zajištění přijatelných hodnot rizik.

Obr. 5.2: Ocenění nákladů pomocí DEHN Risk Tool

Výsledky analýzy lze uložit přímo do managementu zakázek nebo exportovat textový výstup do formátů PDF, MS Word a RTF. Nabízeny jsou dvě verze výstupu - krátká a dlouhá. Krátká verze obsahuje primárně výsledné hodnoty analýzy, dle vypsaných parametrů nechráněné stavby. Dlouhá verze výstupu naopak obsahuje vysvětlení jednotlivých rizik, skládání rizik a příčin škod, které definují možná nebezpečí v rámci zhruba čtyřstránkovém teoretickém uvedení do problematiky analýzy. Taktéž detailněji vysvětluje zadané hodnoty parametrů, například grafickým zobrazením izokeraunické mapy.

Samozřejmostí obou výstupů je i přehled použitých zkratk, objasnění pojmů, údaje o projektu spolu s výběrem ochranných opatření a nedílnou součástí pak normativní předpoklady a právní závaznost pro zpracovatele výpočtu. Výstup tak obsahuje všechny důležité údaje k příloze projektové dokumentace. Kompletní podoba výstupu se nachází v elektronické příloze A4, které také představují reálné výstupy k řešení praktické části v podkapitole 6.2.

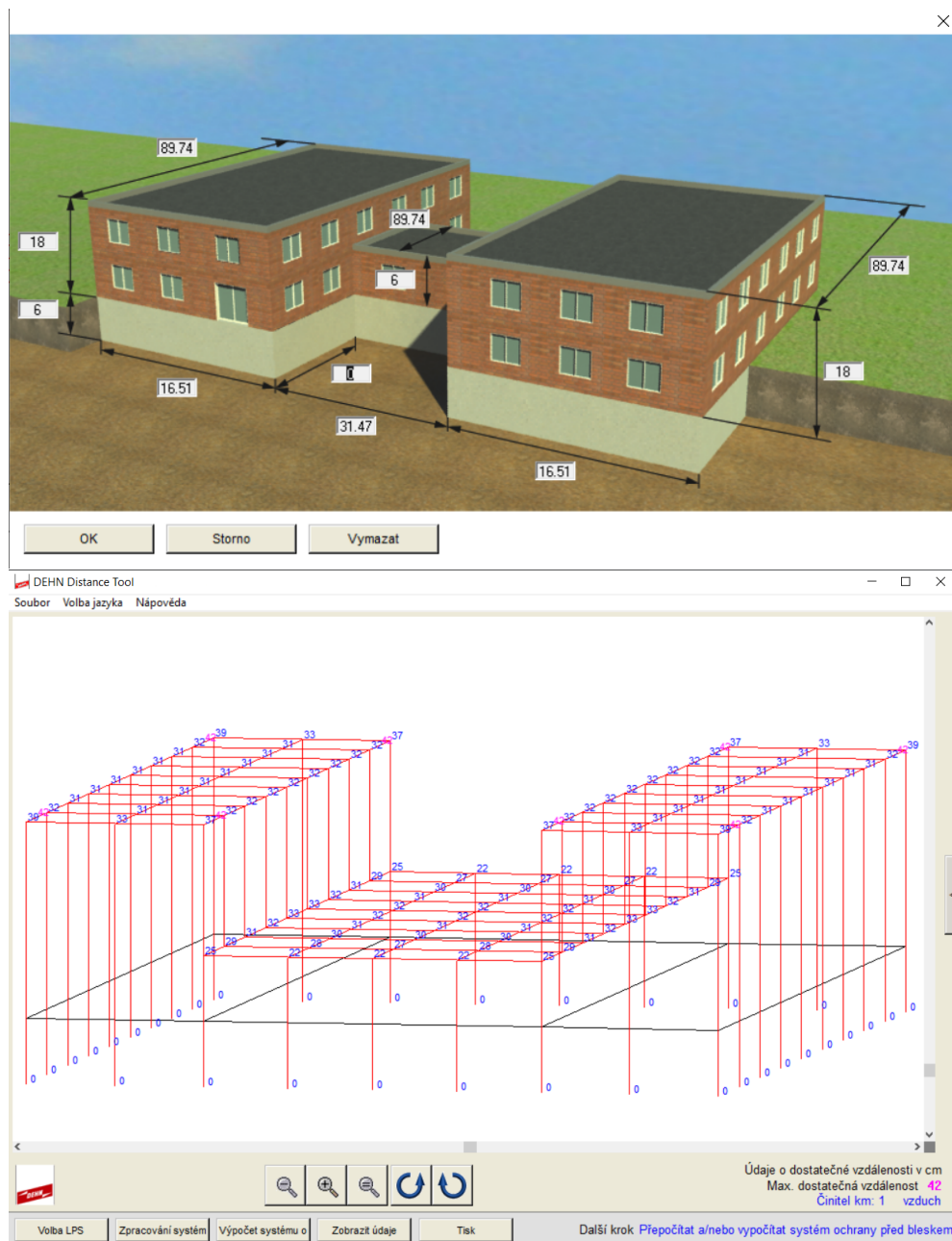


Obr. 5.3: Volba ochranných opatření softwarem DEHNsupport

5.1.2 DEHN Distance Tool Module - výpočet dostatečné vzdálenosti

Dalším užitečným softwarovým prostředkem od společnosti DEHN je modul pro určení bezpečné vzdálenosti, řídicí se aktuální mezinárodní normou IEC 62305-3 [3]. Zjednodušení práce zajišťují přednastavené typy budov, jak je vidět na horní části obrázku 5.4, pro které stačí v 3D prostředí nastavit konkrétní rozměry k sestavení modelu námi řešené stavby. Ten je následně vyneseno do zobrazení jednoduchého geometrického tvaru stavby. Zvolením třídy ochrany LPS, určeném již při analýze rizik, systém v souladu s normativními parametry vyhodnotí umístění svodů.

V dalším kroku se zadávají parametry proudového zatížení a činitel k_m . Modul od DEHN nabízí, oproti ostatním porovnávaným softwarům pro výpočet bezpečné vzdálenosti, volbu distančního držáku, coby izolačního materiálu.



Obr. 5.4: Výpočet bezpečné vzdálenosti v DEHN Distance Tool Module – způsob zadávání rozměrů stavby (horní), výsledný model stavby s umístěním jímací soustavy (dolní)

Místa vedení je dále v části *Zpracování systému ochrany před bleskem* možné editovat, přesouvat či doplnit vedení a jímací tyče pro případ, kdy se na střeše

nachází vystupující části, například vzduchotechnika nebo antény. V téže části se nabízí i možnost doplnění popisů a měřicího bodu.

Nechybí rozsáhlá nápověda s ilustrovaným postupem pro konkrétní problematiku. Vyžaduje však znalost anglického jazyka pro porozumění. Výsledek zmíněného postupu je ilustrován na spodní části obrázku 5.4. Číselný výpis v síti vedení představuje bezpečné vzdálenosti pro každý konkrétní bod jímací soustavy v centimetrech. Ovšem při shodném výpočtu jinými prostředky získáme odlišné hodnoty. Podle rovnice 3.1 minimální vzdálenost s délkou svodu roste, v případě Distance Tool modulu místy i klesá, nebo zůstává konstantní.

Software nabízí tvorbu výstupu ve formátech PDF nebo XPS a je nutné vygenerovat samostatný výstup ke každému pohledu.

5.2 Hakelsoft

Softwarové vybavení Hakelsoft, od české společnosti HAKEL, realizují výpočty řízení rizika, valivé koule, ochranného úhlu nebo dostatečné vzdálenosti. Řídí se aktuálními normami ČSN EN 62305-2 ed.2 a ČSN EN 62305-3 ed.2. Obdobně, jako předcházející software, nabízí možnost zefektivnění a zjednodušení práce v jednotném prostředí.[14]

Výhodou je zcela bezplatné užívání všech částí analýzy ochrany před bleskem. Volně dostupné demo verze umožňují pouze 10 výpočtů, ovšem vyplněním jednoduchého formuláře na stránkách výrobce získáme registrační klíč k neomezenému užívání plné verze vybraných softwarů Hakelsoft. Ovšem před jejich instalací je nutné mít na svém PC s operačním systémem (OS) Windows, od verze 7 po nejnovější 11, nainstalovat platformu Java 1.8 a .[14][15]

Správné použití a jednodušší pochopení softwarových prostředků Hakelsoft zajišťuje ilustrovaná příručka s přesným postupem a detailním vysvětlením jednotlivých zadávaných parametrů. Uživatel má tak snazší porozumění a přehled v postupu všech výpočtů potřebných k zajištění dostatečné ochrany stavby před úderem blesku.[16]

5.2.1 Hakelsoft výpočet rizik

Na webových stránkách výrobce [14] jsou zveřejněné vzorové výpočty pro charakteristické typy staveb, jakož jsou venkovský dům, budova s kanceláři, nemocnice nebo haly. K těmto vzorovým výpočtům jsou dostupné i návody v PDF formátu, pro vybrané i formou videí. Výrobce doporučuje pro práci se vzorovými příklady mít přístup k normě ČSN EN 62305-2 ed.2, konkrétně její přílohu E s případovými studii, jelikož s těmito příklady přesně korespondují.[14]

Ihned po spuštění softwaru se vyplňují parametry a charakteristiky řešené stavby, také detaily zákazníka, projektanta a případné poznámky. Postup samotného výpočtu není tolik intuitivní při prvním použití. Jelikož některé parametry, například zóny stavby a příslušící vedení připojené k vnitřním systémům, je nutné rozkliknout pro zobrazení možnosti editace jejich vlastností.

Software nabízí výpočet sběrných ploch pouze u staveb jednoduchých geometrických tvarů, v případě složitějších objektů musíme hodnoty zadat ručně podle vlastního výpočtu.

Opět je umožněno sledovat vlivy dílčích výpočtů na výsledné velikosti rizik ztrát na spodní části uživatelského prostředí softwaru, viz obrázek 5.5, společně s hodnotou rizika při aplikaci později definovaného řešení ochranného opatření. Přehledné je i jejich barevné rozlišení vyjadřující zda navrhované opatření vyhovuje.

| Úroveň rizika | Tolerovatelné riziko R_T | Výchozí parametry | Řešení 1 | Řešení 2 |
|--|----------------------------|-------------------|---------------|--------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Riziko ztrát lidských životů ve stavbě R_1 ($\times 10^{-5}$ za rok) | 1 | 35,5793816 | 6,3742263397 | 0,61636068 |
| <input checked="" type="checkbox"/> Riziko ztráty veřejné služby ve stavbě R_2 ($\times 10^{-3}$ za rok) | 1 | 27,5333116288 | 12,9390353597 | 0,2835716733 |
| <input type="checkbox"/> Riziko ztráty kulturního dědictví ve stavbě R_3 ($\times 10^{-4}$ za rok) | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <input checked="" type="checkbox"/> Riziko ztráty ekonomických hodnot ve stavbě R_4 ($\times 10^{-3}$ za rok) | --- | 55,3312632576 | 2,1010490714 | 0,5705985465 |

Obr. 5.5: Prostředí softwaru analýzy rizik Hakelsoft

Stejně jako u DEHNsupport, nechybí možnost využít části s výpočtem k ocenění nákladů na ztráty, postup zadávání nákladů je taktéž obdobný. Prostředí této části výpočtu je vyobrazené na obrázku 5.6.

Vyhodnocení rizik umožňuje na rozdíl od DEHNsupport zadat upřesňující parametry, závislé přímo na předpokládaných počtech osob a čase stráveném v zóně

hakelsoft p 62305-2 ed.2 v.2.2.0 [*]

Šoubor Nástroje

Stavba Nechráněná stavba Chráněná stavba LPS Chráněná stavba LPS + LPL

Vstupující inženýrské síť LPZ Ztráty Rizika Ocenění nákladů na ztráty

Měna: měna

| | Vnější | Vnitřní (LPZ 0/1) | Stavba |
|---|--------|-------------------|--------|
| Cena zvířat C_A : | 0 | 0 | 0 |
| Cena systémů ve stavbě C_S : | 0 | 0 | 0 |
| Cena budovy C_B : | 0 | 0 | 0 |
| Cena obsahu C_C : | 0 | 0 | 0 |
| Celkem - střední hodnota možných ztrát $c(L_{0,4})$: | 0 | 0 | 0 |
| Náklady na ztráty bez přijatých ochranných opatření C_L : | 0 | 0 | 0 |
| Celková cena zbytkových ztrát C_{RL} : | 0 | 0 | 0 |

Cena ochranných opatření:

| Ochranná opatření: | Parametr: | Hodnota p... | Cena: | Poznámka: |
|---|-----------|--------------|-------|-----------|
| Opatření pro celou stavbu: | | | | |
| Prostorové stínění | | | | |
| Opatření v jednotlivých vnějších zónách Z_s: | | | | |
| Vnější | | | | |
| Půda: Dotykový odpor = 1 kOhm (Zemědělská, betonová) | r_t | 0,01 | 0 | |
| Opatření v jednotlivých vnitřních zónách Z_i: | | | | |
| Vnitřní (LPZ 0/1) | | | | |
| Půda: Dotykový odpor > 100 kOhm (Asfalt, linoleum, dřevo) | r_t | 0,00001 | 0 | |
| Vnitřní systémy: | | | | |
| Zařízení [Siln proud [S]] | | | | |

Další náklady: 0 měna Popis:

Celková cena ochranných opatření C_p : 0 měna

Úroková míra i : 0

Odpisová sazba a : 0


Míra údržby m : 0

Roční cena ochranných opatření C_{PM} : 0 měna

Roční úspora peněz S_M : 0 měna / rok

Vyhodnocení rizik

| | Tolerovatelné riziko R_T | Východí parametry | Řešení 1 | Řešení 2 |
|--|----------------------------|-------------------|--------------|--------------|
| Riziko ztrát lidských životů ve stavbě R_1 ($\times 10^{-5}$ za rok) | 1 | 14,7917241279 | 6,1468060688 | 0,4462380688 |
| Riziko ztráty veřejné služby ve stavbě R_2 ($\times 10^{-3}$ za rok) | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Riziko ztráty kulturního dědictví ve stavbě R_3 ($\times 10^{-4}$ za rok) | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Riziko ztráty ekonomických hodnot ve stavbě R_4 ($\times 10^{-3}$ za rok) | --- | 0,6892289269 | 0,6406030142 | 0,6121030142 |



Obr. 5.6: Ocenění nákladů pomocí nástroje Hakelsoft

nebo budově. Tím tak analýza konkretizuje řešenou stavbu a poskytuje přesnější informace, ke kterým zadáváním typických hodnot nelze dosáhnout.

Způsob volby ochranných opatření Hakelsoft nabízí hned pro více možných variant. Na základě porovnání variant řešení lze uvažovat ekonomicky nebo technologicky přívětivější postup k zajištění dostatečné ochrany objektu. Ovšem pro usnadnění řešení nelze separovat jen nejdůležitější parametry. Nápomocná je tak pouze přehledná tabulka, jež rozděluje součásti jednotlivých rizik mezi zóny. Při znalosti návazností parametrů a rizik urychlí efektivní výběr potřebných změn ke snížení rizika.

Textový výstup se všemi zadanými i vypočtenými parametry je generován do formátu MS Word, kde je možné text upravovat a doplnit další informace. Do výstupu se přenesou taktéž informace o stavbě, zpracovateli a poznámky, jež je možné v softwaru zapsat viz obrázek 5.5. Součástí výstupu, jehož vzor se nachází v elek-

tronické příloze A2 a 6, nechybí ani všechny varianty případných řešení plynoucí z analýz v podkapitole 6.2.

5.2.2 Hakelsoft výpočet dostatečné vzdálenosti

Jedná se o dva jednoduché, volně dostupné, softwary rozdělené na výpočet dostatečné vzdálenosti u staveb se:

- soustavou mnoha svodů (mřížová soustava),
- šikmou střechou s jímačem na hřebeni.

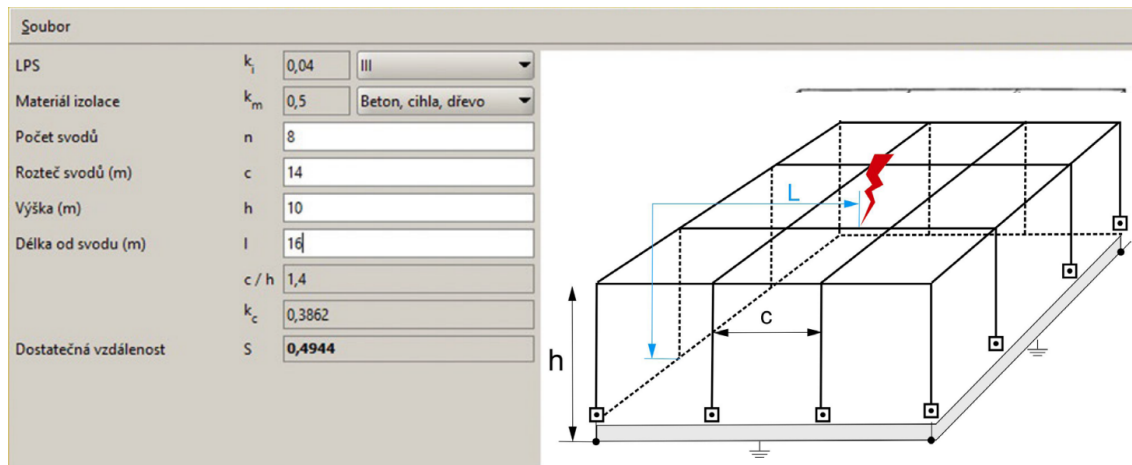
Krátké výpočty jsou v souladu s normou ČSN EN 62305-3 ed.2 a je možné je přiložit k projektové dokumentaci.

Postup výpočtu není nikterak náročný, stačí znát rozměry budovy a přepočítat maximální vzdálenost mezi svody podle tabulky 3.3 na souměrné vzdálenosti, vztahené na rozměr řešené stavby.

Export výpočtu je shodný jako tomu je u modulu pro výpočet rizik. Jeho obsah pak nepojímá žádné další informace, než jaké se vyskytují v uživatelském prostředí.

Soustava mnoha svodů

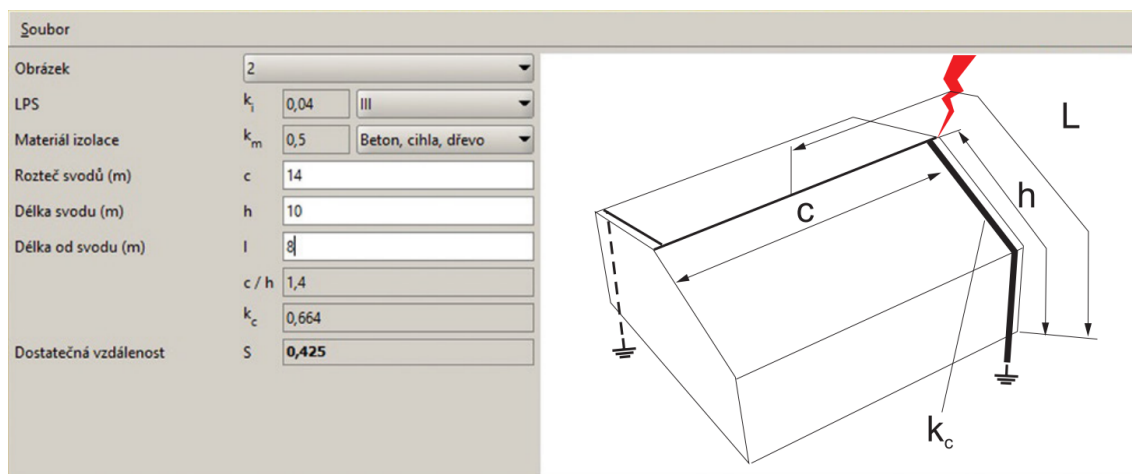
Výpočet vyžaduje zapsat 4 parametry a zvolit třídu LPS a izolační materiál, jak lze vidět na obrázku 5.7, taktéž se v prostředí nachází jednoduchá ilustrace s kótami parametrů, jež je nutné pro výpočet zadat. Usnadní nám to tak celý proces výpočtu.



Obr. 5.7: Hakelsoft výpočet dostatečné vzdálenosti-soustava mnoha svodů [16]

Šikmá střecha s jímačem na hřebeni

Typickým případem, u něž se využívá tohoto výpočtu jsou stavby se sedlovou střechou. Tyto stavby mají každý svod samostatně uzemněn. Opět se volí a zadávají potřebné údaje a parametry, viz obrázek 5.8, avšak máme možnost volby z až 12 obrázků, které mají připodobnit námi řešenou stavbu. [16]



Obr. 5.8: Hakelsoft výpočet dostatečné vzdálenosti-šikmá střecha [16]

5.3 OEZ Prozik

Výpočtový software Prozik od společnosti OEZ oproti předchozím softwarům poskytuje pouze výpočet a řízení rizika ztrát na stavbě v důsledku úderu blesku dle normy ČSN EN 62305-2 ed.2. Vyplněním potřebných dat provede software analýzu rizika a navrhne přepětové ochrany pro síť nízkého napětí 230/400 V. Plná verze softwaru, podporující 4 jazyky (Čeština, Slovenština, Angličtina a Ruština), je zcela zdarma bez nutnosti kontaktování výrobce.[17]

Prozik je možné využívat na kterékoli verzi OS Windows 7 a novější [18].

Obdobně jako u předchozích softwarů, po spuštění Proziku se vyplňují informace projektanta a řešené stavby. Pro bezchybnou analýzu, je důležité dodržet posloupnost ve vyplňování parametrů stavby, k tomu slouží v pravém spodním rohu tlačítko *Pokračovat*, viz obrázek 5.9, při neúplném vyplnění není dovoleno pokračovat s výpočtem a červeně se zvýrazní nevyplněné parametry.

Dále lze na pravé straně obrázku 5.9 postřehnout obdobné zobrazení výsledků analýzy, jako tomu bylo u předchozích softwarových nástrojů. Ani tentokrát nechybí barevné rozlišení vyhovujících hodnot od nepřijatelných.

Prozik disponuje příjemným způsobem zobrazení nápovědy, stačí krátce kurzorem namířit na žádaný parametr a objeví se okno s jeho charakterizací. Případně stačí kliknout na prázdné místo uživatelského prostředí a zobrazí se kompletní nápověda včetně izokeraunické mapy.

Zde nastává rozdíl od ostatních softwarů v počtu úderů do země (N_G), jelikož se Prozik řídí v roce 2018 zrušenou normou ČSN 33 2000-4-443 ed. 2 [19]. Upřednostnění této normy, zabývající se přepětovými ochranami elektrických instalací budov, nejspíše souvisí s dodatkovým nástrojem Proziku a to volby přepětové ochrany na základě analýzy rizik. Normou [2] je výpočet viz rovnice 2.11, kdežto

Prozik k výsledku dojde následujícím vzorcem: $N_G = 0,04 \cdot T_D^{1,25}$. Hodnotu lze však napsat ručně, ovšem nebude odpovídat počet bouřkových dní (T_D). Rozdíl této náležitosti lze taktéž pozorovat na obrázku 5.9 výše.

Obr. 5.9: Prostředí softwaru Prozik

Volba ochranných opatření má obdobný postup jako DEHNSupport. Na obrázku 5.10 vyobrazený postup nabízí u jednotlivých součástí rizik zobrazit informativní soupisku parametrů, jež mají na danou součást vliv a kliknutím na některou z nich nás software přeměruje do části, ve které parametr lze upravit a snížit tak hladinu rizika na přípustné hodnoty.

Výstupem softwaru je jednoduchý textový výpis:

- zadaných parametrů,
- dílčích pravděpodobností škod,
- počtů nebezpečných událostí a následných ztrát,
- výsledné hodnoty rizik a jejich součástí,
- návrh přepětových ochran spotřebičů připojených k silnoproudému vedení,
- soupis materiálu.

Export výstupu je možné ve formátech MS Word a WordPad. Soupis materiálu, zobrazující seznam přístrojů, je možné exportovat do formátu MS Excel. Řešení

ochranných opatření však nelze exportovat do shodného výstupu s nechráněným stavem objektu a je nutné jej vytvořit zvlášť. V příloze A1 a 5 je možné na podobu výstupu, představující taktéž výstupy k analýze řešené v podkapitole 6.2, nahlédnout.

The screenshot shows the OEZ software interface for calculating lightning risk. The main window is titled "Vypočtené hodnoty" (Calculated values). On the right, there is a summary panel with four risk levels: R1 (6.3721), R2 (130.9374), R3 (0), and R4 (74.1807). The main area contains a table of risk components (Součásti rizika) with columns for various risk factors (R_A to R_Z) and a total risk value. Below the table, there is a section for "R_V - Součást rizika související s hmotnou škodou na stavbě - úderů do připojené inženýrské sítě" (R_V - Risk component related to material damage on the building - lightning strikes to the connected engineering network), which lists various parameters and their values.

| | R _A | R _B | R _C | R _M | R _U | R _V | R _W | R _Z | Celk. riziko | Příp. h. |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|----------|
| R ₁ | 0.017700 | 3.56290 | 0 | 0 | 0.013800 | 2.77770 | 0 | 0 | 6.37210 | 1 |
| R ₂ | — | 3.46180 | 38.1600 | 56.8668 | — | 2.69880 | 29 | — | — | — |
| R ₃ | — | 0 | — | — | — | 0 | — | — | — | — |
| R ₄ | 0 | 34.0594 | 4.14950 | 6.18370 | 0 | 26.5531 | 3.2 | — | — | — |

Obr. 5.10: Postup volby ochranných opatření v OEZ Prozik

5.4 Milanovy SW

Pan Milan Kaucký, odborník na ochranu před bleskem a přepětím, začal vytvářet svůj software pro analýzu rizika v roce 2009, kdy se uplatnila nová norma ČSN EN 62305-2 s novým postupem pro výpočet rizika úderu blesku. S příchodem aktualizace normy prošel úpravami i software.[20]

Mimo jiné pan Kaucký vytvořil další softwary související s ochranou před bleskem, konkrétně pro výpočet:

- středního poloměru zemniče,
- dostatečné vzdálenosti,
- průřezu valivé koule mezi dvěma až čtyřmi jímači,
- ochranného úhlu,
- ochranného prostoru jímací soustavy uprostřed mezi dvěma jímači,
- sběrné plochy budov,
- sběrné plochy inženýrské sítě.

Všechny moduly jsou volně dostupné, pouze k získání modulu analýzy rizika je nutné zaslat e-mail na příslušnou adresu. Pan Kaucký tuto náležitost vyžaduje z důvodu přehlednosti o počtu uživatelů a pro oznámení aktualizace softwaru.[21]

Jelikož se nejedná o firemní produkt, jsou softwarové prostředky od pana Kauckého k dispozici na webových stránkách kniška.eu. Tento portál, spravován nezávislými podnikateli, poskytuje informace k problematice účinků blesků a ochrany před jeho působením formou článků, videí, animací nebo přednášek a školení.[22]

5.4.1 Milanův software pro analýzu rizika

Uživatelské rozhraní Milanova softwaru je velmi jednoduché. Jak je na obrázku 5.11, zobrazujícího prostředí softwaru, vidět, při levé straně se nachází nabídka pro zobrazení nápovědy ke správnému postupu výpočtu, přehled výsledných rizik a jejich součástí, management projektů a možnost tisku výsledné analýzy. Zadávání potřebných parametrů je jednoduché a obdobně jako Hakelsoft nabízí rozsáhlejší výběr vlastností stavby, například charakter využití zón. Uživatel tak nemusí přemýšlet, ke kterému typu budovy je řešená stavba nejpodobnější, jedná-li se o specifitější využití stavby nebo jednotlivých zón.



Obr. 5.11: Prostředí Milanova softwaru pro výpočet rizik

Dále nám při pravé straně prostředí ani tentokrát nechybí ukazatel vyhodnocení rizik. Barevné rozlišení je jednoznačným ukazatelem, zda-li analyzovaná rizika

převyšují hodnotu přípustného rizika. Bohužel nelze kontinuálně vnímat vliv jednotlivých změn parametrů, výsledné hodnoty rizik se zobrazí až po zadání všech potřebných parametrů.

Postup výpočtu, shodně jako u Proziku, spočívá v parametrizaci jednotlivých dílčích oblastí, které lze uprostřed výše zobrazeném obrázku 5.11 vidět. K přehlednosti slouží tlačítko *kontrola vyplnění*, které se při vyplnění požadovaných dotazů změní na *vyplněno*. V opačném případě se červeně zvýrazní právě ty dotazy, které nejsou vyplněny a není tak možné dokončit výpočet.

Způsob zobrazení nápovědy je v případě Milanova SW analogií Proziku. Kliknutím na prázdné místo řešené sekce se zobrazí textové okno s kontextovou nápovědou spolu s odkazem na konkrétní část normy [2] popisující danou problematiku.

Volba ochranných opatření v případě Milanova SW je připodobněné k řešení u Hakelsoftu. Tudíž postup vyžaduje znalost nejdůležitějších parametrů na hladiny rizik, případně lze využít tabulku, obrázek 5.12, s rozpisem ovlivňujících faktorů na jednotlivé součásti rizik.

| Charakteristika stavby nebo vnitřních systémů Ochranná opatření | R _A | R _B | R _C | R _M | R _U | R _V | R _W | R _Z |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Sběrné oblasti pro přímý a nepřímý úder blesku | • | • | • | • | • | • | • | • |
| Rezistivita půdy | • | | | | | | | |
| Rezistivita podlahy | | | | | • | | | |
| Fyzické překážky, HVI, varovné nápisy, vyrovnání potenciálu a pod. | • | | | | • | | | |
| LPS (hromosvod) | • | • | • | • | • | • | | |
| Koordinovaná ochrana SPD | | | • | • | • | • | • | • |
| Prostorové stínění | | | • | • | | | | |
| Stíněná vnější vedení | | | | | • | • | • | • |
| Stíněná vnitřní vedení | | | • | • | | | | |
| Opatření při trasování (zabránění indukčním smyčkám) | | | • | • | | | | |
| Ekvipotenciální pospojování - vyrovnání vnitřního potenciálu | | | • | | | | | |
| Protipožární opatření | | • | | | | • | | |
| Požární zatížení (soulad s požární zprávou) | | • | | | | • | | |
| Zvláštní nebezpečí - panika, ohrožení okolí | | • | | | | • | | |
| Impulzní výdržné napětí připojených spotřebičů a zařízení | | | • | • | • | • | • | • |

Obr. 5.12: Tabulka ovlivňujících faktorů součástí rizik, Milanův SW

Činitele součástí rizik je opět možné specifikovat na základě přepočtu ze zadaných počtů osob a jejich čase přítomném v zóně. Typické hodnoty těchto činitelů nelze využít u rizika R4.

Výstup obsahuje ve stručnosti zadané hodnoty, vypočtené rizika, součásti rizik a ztráty. Nechybí ani vyhodnocení, zda jednotlivá rizika vyhovují přípustné hodnotě. Pro lepší vizualizaci podoby výstupu je v elektronické příloze A3 a 7 demonstrován

výsledek řešení v rámci podkapitoly 6.2. K možnostem exportování výstupu do formátů MS Word a RTF, lze text upravit a doplnit potřebné informace, například o zhotoviteli. Stejně jako u Proziku je nutností exportu dvou výstupů, jeden s hodnotami nechráněné stavby a druhý s výsledným řešením.

5.4.2 Milanův výpočet dostatečné vzdálenosti

Jeden ze zmíněných volně dostupných modulů od pana Kauckého, výpočet bezpečné vzdálenosti, nabízí pouze řešení mřížové soustavy. Jak lze na obrázku 5.13 vidět, na rozdíl ve výpočtu od Hakelsoftu vyžaduje rozměry budovy, díky kterým stanoví rozteče svodů v souladu s třídou LPS a nemusíme je tak dopočítávat zvlášť. Rozteče je však možné i volit dle vlastních požadavků, avšak výpočet předpokládá totožné rozteče svodů po celém obvodu stavby

Možnost exportu dat modul postrádá, což však není podstatná funkce, neboť se jedná o zjednodušení výpočtu pro umístění bodů ve výkresové dokumentaci jímací soustavy.

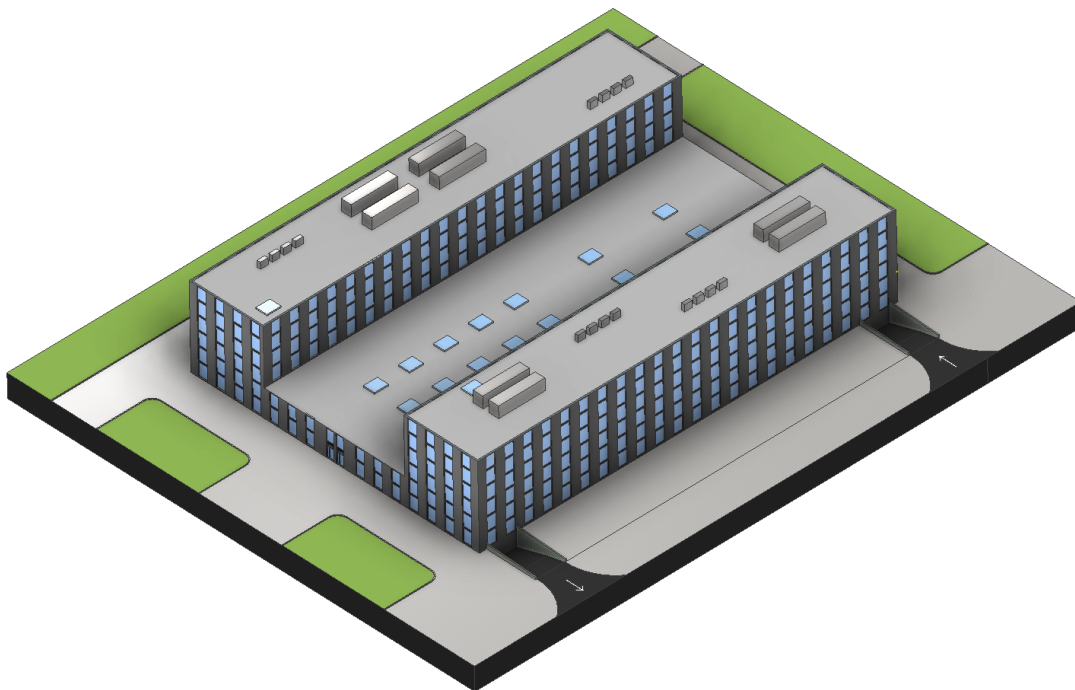
Obr. 5.13: Milanův výpočet dostatečné vzdálenosti

6 Řešení ochrany multifunkčního objektu

V této kapitole je prakticky využito zmíněných softwarových nástrojů na charakterizovaném fiktivním multifunkčním objektu. Výsledky analýzy jsou pak cíleně využity k realizaci dvou technických přístupů ochrany objektu před bleskem a jejich vzájemného porovnání.

6.1 Multifunkční objekt

Multifunkční objekt, jež je vizualizován na obrázku 6.1, slouží primárně jako kancelářská budova, ovšem nachází se v ní i obchody a prostory pro sportovní využití. Zastavěná plocha budovy disponuje dvoupatrovou podzemní garáží s kapacitou 164 parkovacích míst.



Obr. 6.1: Vizualizace řešeného multifunkčního objektu

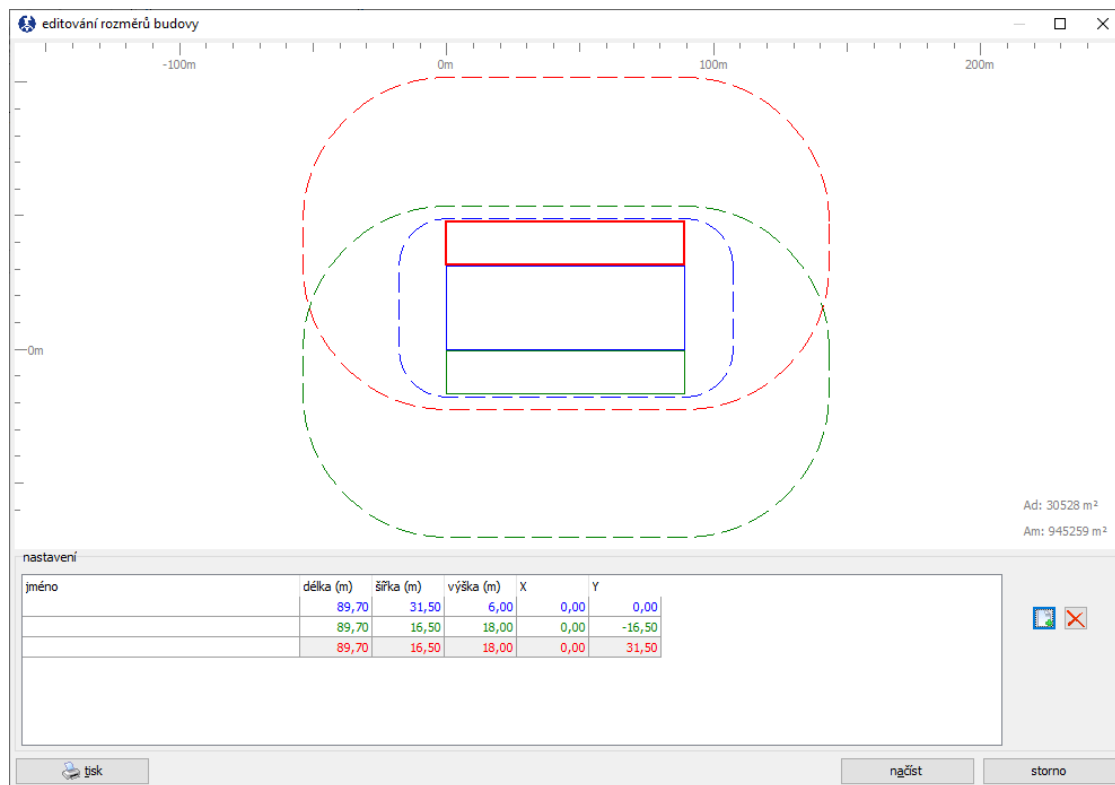
Geografická poloha objektu je uvažována pro předměstskou část Brna s okolními budovami stejné či nižší výšky. Z těchto informací vyplývají hodnoty parametrů:

- $T_D = 25$,
- $C_d = 0,5$,
- $C_e = 0,5$.

Sběrné plochy byly stanoveny pomocí softwaru DEHNsupport viz obrázek 6.2: Pro přímé údery blesku: $A_d=30\,528\text{ m}^2$

Pro nepřímé údery blesku: $A_m=945\,259\text{ m}^2$

Výsledné hodnoty sběrných ploch jsou dále využité při řešení ostatních způsobů analýzy.



Obr. 6.2: Výpočet sběrné plochy pomocí DEHNSupport

Dále byl objekt rozdělen do následujících zón:

LPZ 0B:

Venkovní prostředí

LPZ 1:

Podzemní parkoviště

Posilovna

Obchody

Kanceláře

Do objektu vstupují dvě inženýrské sítě, silová a telekomunikační. Specifikace a vlastnosti těchto sítí jsou charakterizovány podle standardních hodnot a případových studií přílohy E z normy [2]. V následujících tabulkách 6.1 a 6.2 jsou společně s údaji o vnitřních systémech vlastnosti vstupujících sítí popsány. Ve všech vnitřních zónách objektu je trasování vedení, silového i telekomunikačního, provedeno nestíněným kabelem s opatřením pro vyloučení velkých smyček ($K_{S3}=0,2$). Rovněž není provedena žádná koordinovaná ochrana SPD ($P_{SPD}=1$).

Tab. 6.1: Inženýrské sítě – silové vedení

| Parametr | Komentář | Značení | Hodnota |
|---------------------------------------|-------------------------|----------|---------------|
| Délka (m) | Neznámá | L_L | 1000 |
| Činitel instalace | Kabelové podzemní | C_I | 0,5 |
| Činitel druhu vedení | VN s transformátorem | C_T | 0,2 |
| Činitel prostředí | Předměstské | C_E | 0,5 |
| Stínění vedení (Ω/km) | Se společnou přípojnici | R_S | $1 < R_S < 5$ |
| Uzemnění a oddělení | Žádné | C_{LD} | 1 |
| | | C_{LI} | 0,3 |
| Výdržné napětí systémů (kV) | | U_W | 2,5 |
| Činitel výdržného napětí | | K_{S4} | 0,4 |
| Pravděpodobnost poruchy D3 | V důsledku S3 | P_{LD} | 0,6 |
| | V důsledku S4 | P_{LI} | 0,3 |

Tab. 6.2: Inženýrské sítě – telekomunikační vedení

| Parametr | Komentář | Značení | Hodnota |
|---------------------------------------|-------------------|----------|---------|
| Délka (m) | Neznámá | L_L | 1000 |
| Činitel instalace | Kabelové podzemní | C_I | 0,5 |
| Činitel druhu vedení | Telekomunikační | C_T | 1 |
| Činitel prostředí | Předměstské | C_E | 0,5 |
| Stínění vedení (Ω/km) | Žádné | R_S | – |
| Uzemnění a oddělení | Žádné | C_{LD} | 1 |
| | | C_{LI} | 1 |
| Výdržné napětí systémů (kV) | | U_W | 1,5 |
| Činitel výdržného napětí | | K_{S4} | 0,67 |
| Pravděpodobnost poruchy D3 | V důsledku S3 | P_{LD} | 1 |
| | V důsledku S4 | P_{LI} | 0,5 |

Ke každé zóně náleží specifické parametry, jež jsou vypsány v tabulce 6.3. Parametry jsou vztaženy k rozloze zóny a zvoleny na základě řešerše internetových zdrojů, poznatků konzultanta a stavební normy ČSN 73 5305 [23], která doporučuje plochu pracoviště v rozmezí 1,3–1,5 m² na jednu osobu.

Z důvodu různorodosti využívaných prostor, je každá zóna dále specifikována separátně v následujících tabulkách 6.4 až 6.8. Parametry odpovídají reálným hodnotám u obdobných staveb a číselně jsou vyjádřeny podle normy [2].

Tab. 6.3: Charakterizace zón objektu

| Zóna | Exteriér stavby | Podzemní garáž | Sportovní prostory | Obchody | Kanceláře |
|------------------|-----------------|----------------|--------------------|---------|-----------|
| Osob | 20 | 300 | 240 | 2100 | 2000 |
| Přítomnost (h) | 8760 | 1460 | 3650 | 4000 | 2100 |
| Zákazníků | 0 | 0 | 230 | 2000 | 0 |
| Budova (mil Kč) | 0 | 230 | 30 | 80 | 120 |
| Obsah (mil Kč) | 0 | 50 | 4 | 20 | 200 |
| Systémy (mil Kč) | 30 | 5 | 0,25 | 3 | 100 |

Tab. 6.4: Vlastnosti venkovní zóny stavby

| Parametry | Komentář | Značení | Hodnota |
|---|-------------------|----------|-----------|
| Druh podlahy | Beton | r_t | 10^{-2} |
| Ochrana před úrazem elektrickým proudem | Žádné | P_{TA} | 1 |
| | | P_{TU} | 1 |
| Riziko požáru | Žádné | r_f | 0 |
| Protipožární ochrana | Žádná | r_p | 1 |
| Prostorové stínění | Žádné | K_{S2} | 1 |
| Ztráta L1 | Bez rizika paniky | h_z | 1 |
| | Škoda D1 | L_T | 0,01 |
| | Škoda D2 | L_F | 0,02 |

Tab. 6.5: Vlastnosti podzemní garáž

| Parametry | Komentář | Značení | Hodnota |
|---|------------------------|----------|-----------|
| Druh podlahy | Beton | r_t | 10^{-2} |
| Ochrana před úrazem elektrickým proudem | Žádné | P_{TA} | 1 |
| | | P_{TU} | 1 |
| Riziko požáru | Obvyklé | r_f | 0,01 |
| Protipožární ochrana | Žádná | r_p | 1 |
| Prostorové stínění | Žádné | K_{S2} | 1 |
| Ztráta L1 | Průměrná úroveň paniky | h_z | 5 |
| | Škoda D1 | L_T | 0,01 |
| | Škoda D2 | L_F | 0,02 |

Tab. 6.6: Vlastnosti zóny pro sportovní užití

| Parametry | Komentář | Značení | Hodnota |
|---|----------------------|----------|-----------|
| Druh podlahy | Linoleum | r_t | 10^{-5} |
| Ochrana před úrazem elektrickým proudem | Žádné | P_{TA} | 1 |
| | | P_{TU} | 1 |
| Riziko požáru | Nízké | r_f | 0,001 |
| Protipožární ochrana | Žádná | r_p | 1 |
| Prostorové stínění | Žádné | K_{S2} | 1 |
| Ztráta L1 | Vysoká úroveň paniky | h_z | 10 |
| | Škoda D1 | L_T | 0,01 |
| | Škoda D2 | L_F | 0,02 |

Tab. 6.7: Vlastnosti obchodní zóny

| Parametry | Komentář | Značení | Hodnota |
|---|----------------------|----------|-----------|
| Druh podlahy | Mramorová/keramická | r_t | 10^{-3} |
| Ochrana před úrazem elektrickým proudem | Žádné | P_{TA} | 1 |
| | | P_{TU} | 1 |
| Riziko požáru | Obvyklé | r_f | 0,01 |
| Protipožární ochrana | Žádná | r_p | 1 |
| Prostorové stínění | Žádné | K_{S2} | 1 |
| Ztráta L1 | Vysoká úroveň paniky | h_z | 10 |
| | Škoda D1 | L_T | 0,01 |
| | Škoda D2 | L_F | 0,02 |

Tab. 6.8: Vlastnosti zóny kanceláří

| Parametry | Komentář | Značení | Hodnota |
|---|----------------------|----------|-----------|
| Druh podlahy | Mramorová/keramická | r_t | 10^{-3} |
| Ochrana před úrazem elektrickým proudem | Žádné | P_{TA} | 1 |
| | | P_{TU} | 1 |
| Riziko požáru | Obvyklé | r_f | 0,01 |
| Protipožární ochrana | Žádná | r_p | 1 |
| Prostorové stínění | Žádné | K_{S2} | 1 |
| Ztráta L1 | Vysoká úroveň paniky | h_z | 10 |
| | Škoda D1 | L_T | 0,01 |
| | Škoda D2 | L_F | 0,02 |

6.2 Analýza rizika multifunkčního objektu

S podklady z předchozí podkapitoly 6.1 byl dále proveden výpočet rizik ve všech 4 zhodnocených softwarech a pro získání referenčních hodnot slouží vlastní výpočet.

Vlastní výpočet postupoval podle rovnic z kapitoly 2 a pro jeho realizaci bylo nutné všechny zóny vypočítat separátně. Konečné hodnoty rizik celého objektu jsou součty výsledků jednotlivých zón. Takovýto postup je velmi zdlouhavý, v poměru s analýzou skrze softwarové nástroje až osminásobný, a při nedostatečném rozlišení parametrů a zón, například barevném, není těžké provést chybný výpočet.

K analýze bylo u každého softwaru využito každého nabízeného kroku, zejména se jedná o možnosti charakterizace každé zóny separátně, což však nedělá značný rozdíl ve výsledcích.

V tomto případě se hodnoty u softwarů Prozik, Hakelsoft a Milanova SW lišily minimálně a vlastní výpočet jejich správnost potvrdil. Pro snížení rizik na přípustné hodnoty u výsledků Proziku a Hakelsoftu vystačí hladina LPL III, koordinovaná ochrana SPD III a pro soulad s normou ČSN 73 0810 o požární bezpečnosti staveb [24] riziko sníží automaticky ovládaná hasicí instalace v garáži a ručně ovládaná hasicí instalace.

Co se týče analýzy DEHNsupport, riziko veřejných ztrát R_2 je počítáno pouze pro typické hodnoty a ekonomické ztráty odlišným způsobem, proto se hodnoty nerovnají. Pro snížení rizik se řešení od předchozích liší jen instalací koordinované ochrany SPD II v prostorech sportovního užití a obchodech. Tyto opatření jsou nutné i v případě výsledků Milanova softwaru.

Výsledky tohoto způsobu výpočtu jsou v následujících tabulkách 6.9 až 6.13 a v tabulce 6.21 pak snížené hodnoty po uvažování navržených ochranných opatření.

Tab. 6.9: OEZ Prozik, upřesňující parametry ($\times 10^{-5}$)

| | R_A | R_B | R_C | R_M | R_U | R_V | R_W | R_Z |
|-------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|----------|
| R_1 | 0,0175 | 2,431 | 0,000 | 0,000 | 0,0125 | 1,897 | 0,000 | 0,000 |
| R_2 | – | 3,462 | 38,160 | 56,867 | – | 2,722 | 30,000 | 1295,000 |
| R_4 | 0,000 | 6,679 | 4,455 | 6,639 | 0,000 | 5,251 | 3,502 | 151,182 |

Tab. 6.10: Hakelsoft, upřesňující parametry ($\times 10^{-5}$)

| | R_A | R_B | R_C | R_M | R_U | R_V | R_W | R_Z |
|-------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|----------|
| R_1 | 0,0175 | 2,413 | 0,000 | 0,000 | 0,0117 | 1,771 | 0,000 | 0,000 |
| R_2 | – | 3,244 | 35,755 | 53,283 | – | 2,38 | 26,236 | 1171,218 |
| R_4 | 0,000 | 6,679 | 4,455 | 6,639 | 0,000 | 4,900 | 3,269 | 145,929 |

Tab. 6.11: Milanův software, upřesňující parametry ($\times 10^{-5}$)

| | R_A | R_B | R_C | R_M | R_U | R_V | R_W | R_Z |
|-------|---------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|----------|
| R_1 | 0,00164 | 2,413 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,771 | 0,000 | 0,000 |
| R_2 | – | 4,198 | 41,976 | 61,543 | – | 3,080 | 30,800 | 1361,250 |
| R_4 | 0,000 | 6,665 | 4,445 | 6,517 | 0,000 | 4,890 | 3,261 | 144,139 |

Tab. 6.12: DEHNsupport, upřesňující parametry ($\times 10^{-5}$)

| | R_A | R_B | R_C | R_M | R_U | R_V | R_W | R_Z |
|-------|--------|-------|--------|---------|--------|-------|--------|----------|
| R_1 | 0,0181 | 2,490 | 0,000 | 0,000 | 0,0117 | 1,770 | 0,000 | 0,000 |
| R_2 | – | 3,570 | 39,300 | 109,045 | – | 2,540 | 28,000 | 2545,000 |
| R_4 | 0,000 | 6,880 | 4,590 | 12,730 | 0,000 | 4,900 | 3,270 | 297,111 |

Tab. 6.13: Vlastní výpočet, upřesňující parametry ($\times 10^{-5}$)

| | R_A | R_B | R_C | R_M | R_U | R_V | R_W | R_Z |
|-------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|----------|
| R_1 | 0,0181 | 2,486 | 0,000 | 0,000 | 0,0129 | 1,771 | 0,000 | 0,000 |
| R_2 | – | 3,531 | 39,320 | 56,867 | – | 2,514 | 28,000 | 1295,000 |
| R_4 | 0,000 | 6,882 | 4,590 | 6,639 | 0,000 | 4,900 | 3,269 | 151,182 |

Tab. 6.14: Výsledné hodnoty rizik při využití upřesňujících parametrů ($\times 10^{-5}$)

| | R_1 | R_2 | R_4 |
|------------------------|-------|----------|---------|
| OEZ Prozik | 4,340 | 1426,210 | 177,708 |
| Hakelsoft | 4,213 | 1292,115 | 171,871 |
| Milanův software | 4,185 | 1496,297 | 169,917 |
| DEHNsupport | 4,287 | 2727,472 | 329,483 |
| Vlastní výpočet | 4,287 | 1419,791 | 177,462 |
| Přípustné riziko R_T | 1 | 100 | 100 |

Tab. 6.15: Chráněná stavba při využití všech nabízených funkcí ($\times 10^{-5}$)

| | R_1 | R_2 | R_4 |
|------------------------|--------|--------|--------|
| OEZ Prozik | 0,1687 | 73,068 | 8,869 |
| Hakelsoft | 0,2046 | 70,856 | 8,800 |
| Milanův software | 0,1459 | 54,084 | 8,345 |
| DEHNsupport | 0,1426 | 55,410 | 16,127 |
| Přípustné riziko R_T | 1 | 100 | 100 |

Druhým způsobem výpočtu bylo uvažováno pouze typických hodnot, tudíž bez uvažování počtů osob a jejich době přítomnosti, počtu zákazníků a peněžní hodnota objektu včetně obsahu a elektrických systémů. Vlastní výpočet opět potvrdil správnost výsledků u Proziku a Hakelsoftu. U těchto výsledků objekt již spadá do hladiny LPL II a je nutná koordinovaná ochrana SPD I primárně pro snížení rizika R4.

Milanův software má pouze odlišnou hodnotu rizika R4, a to z důvodu, že nelze uvažovat jen typické hodnoty ekonomických ztrát a řídí se pouze zadanými částkami. V tomto případě výpočtu nám ke snížení rizik zapadá do třídy LPL II a koordinované SPD II.

K jejich snížení i zde byly využity totožná protipožární opatření.

Výpočet ze softwaru DEHNsupport v tomto případě není možný, jelikož uvažování čistě typických hodnot lze jen v případě, kdy není stavba rozdělena do zón LPZ. Výsledky jsou tudíž irelevantní.

Tab. 6.16: OZ Prozik, typické hodnoty ($\times 10^{-5}$)

| | R_A | R_B | R_C | R_M | R_U | R_V | R_W | R_Z |
|-------|-------|--------|--------|---------|-------|--------|---------|----------|
| R_1 | 0,839 | 19,843 | 0,000 | 0,000 | 0,360 | 15,600 | 0,000 | 0,000 |
| R_2 | – | 4,198 | 76,320 | 113,734 | – | 3,300 | 60,000 | 2590,000 |
| R_4 | 0,000 | 23,659 | 152,64 | 227,467 | 0,000 | 18,600 | 120,000 | 5180,000 |

Tab. 6.17: Hakelsoft, typické hodnoty ($\times 10^{-5}$)

| | R_A | R_B | R_C | R_M | R_U | R_V | R_W | R_Z |
|-------|-------|--------|---------|---------|-------|--------|---------|----------|
| R_1 | 0,839 | 19,843 | 0,000 | 0,000 | 0,336 | 14,560 | 0,000 | 0,000 |
| R_2 | – | 4,198 | 76,320 | 113,734 | – | 3,080 | 56,000 | 2500,000 |
| R_4 | 0,000 | 23,659 | 152,640 | 227,467 | 0,000 | 17,360 | 112,000 | 5000,000 |

Tab. 6.18: Milanův software, typické hodnoty ($\times 10^{-5}$)

| | R_A | R_B | R_C | R_M | R_U | R_V | R_W | R_Z |
|-------|-------|--------|--------|---------|-------|--------|--------|----------|
| R_1 | 0,382 | 19,843 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 14,560 | 0,000 | 0,000 |
| R_2 | – | 4,198 | 76,320 | 111,897 | – | 3,080 | 56,000 | 2474,999 |
| R_4 | 0,000 | 6,679 | 4,455 | 6,532 | 0,000 | 4,900 | 3,269 | 144,469 |

Tab. 6.19: Vlastní výpočet, typické hodnoty ($\times 10^{-5}$)

| | R_A | R_B | R_C | R_M | R_U | R_V | R_W | R_Z |
|-------|-------|--------|---------|---------|-------|--------|--------|-------|
| R_1 | 0,865 | 20,446 | 0,000 | 0,000 | 0,336 | 14,560 | 0,000 | 0,000 |
| R_2 | – | 3,971 | 76,640 | 113,734 | – | 0,283 | 56,000 | 2590 |
| R_4 | 0,000 | 24,378 | 157,280 | 227,467 | 0,000 | 17,360 | 112 | 5180 |

Tab. 6.20: Výsledné hodnoty rizik při využití typických hodnot ($\times 10^{-5}$)

| | R_1 | R_2 | R_4 |
|------------------------|--------|----------|----------|
| OEZ Prozik | 36,643 | 2847,55 | 5722,37 |
| Hakelsoft | 35,579 | 2753,331 | 5533,126 |
| Milanův software | 34,785 | 2726,495 | 170,304 |
| Vlastní výpočet | 36,208 | 2842,628 | 5718,486 |
| Přípustné riziko R_T | 1 | 100 | 100 |

Tab. 6.21: Chráněná stavba ($\times 10^{-5}$)

| | R_1 | R_2 | R_4 |
|------------------------|--------|--------|--------|
| Prozik | 0,6260 | 29,299 | 58,950 |
| Hakelsoft | 0,6164 | 28,357 | 57,060 |
| Milanův software | 0,5867 | 56,026 | 3,433 |
| Přípustné riziko R_T | 1 | 100 | 100 |

6.3 Návrh ochranných opatření

Při návrzích ochrany jsou zvažovány více rizikové výsledky analýzy, u které objekt spadá do třídy LPS II. Vlastní výpočty bezpečné vzdálenosti tedy uvažují koeficienty $k_i = 0,06$ a $k_m = 1$, protože izolačním materiálem je vzduch, s celkovým počtem 38 svodů. Jelikož se jedná o stavbu s plochou střechou, bude využito mřížové soustavy, u které je povolena maximální šířka ok mříže a rozteč svodů 10 m pro LPS II.

Provedené návrhy sestávají z 2 různých technických postupů. Jedním je oddálený (izolovaný) hromosvod. Vyznačuje se jednoduchou konstrukcí, která je od stavby distancována, a není tak v přímém kontaktu s bleskovým proudem. Postup druhého návrhu vyžaduje komplexnější rozvržení, a to už při samotné výstavbě budovy, jelikož využívá propojení železobetonového armování konstrukce, čímž tvoří tzv. Faradayovu klec. [25]

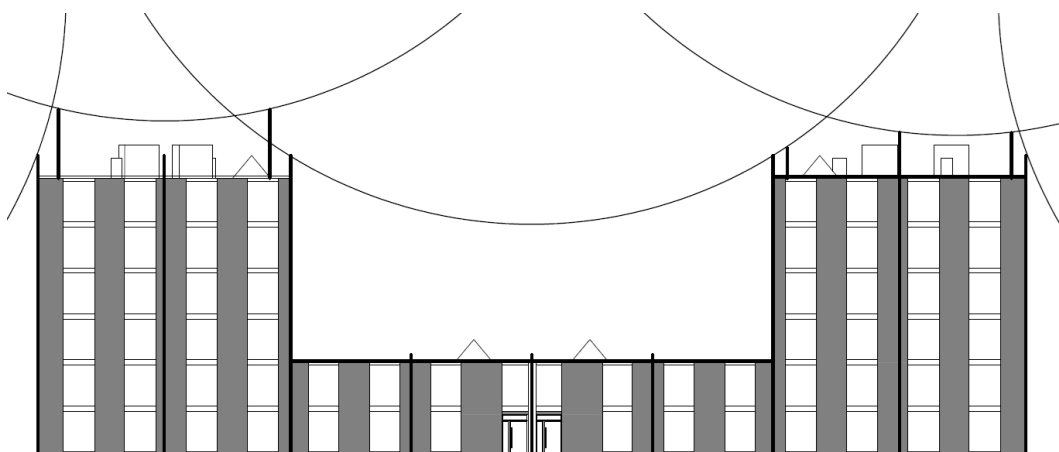
6.3.1 Návrh A – oddálený hromosvod

Prvním návrhem je oddálený hromosvod s vyrovnáním potenciálu 6 m pod úrovní terénu. Výpočet bezpečných vzdáleností v tabulce 6.22 byl využit spolu s grafickou metodou valivé koule, výkresy projektu se nachází v elektronická přílohách B1-3.

Jelikož se na střeše nachází vzduchotechnika a světlíky, musí být ochrana zajištěna i volně stojícími jímacími tyčemi. Nutnost instalace jímacích tyčí v nižší části budovy odpadá, poněvadž, jak je patrné z obrázku 6.3.1, je propad valivé koule zne-možněn částmi jímací soustavy nacházející se na vyšších částech stavby.

Tab. 6.22: Bezpečné vzdálenosti S (cm), oddálený hromosvod

| Vyšší část budovy | | | Nižší část budovy | | | | | Vyšší část budovy | | |
|-------------------|------|------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|------|------|
| 38,4 | 38,4 | 38,4 | 24,1 | 24,1 | 24,1 | 24,1 | 24,1 | 38,4 | 38,4 | 38,4 |
| 38,4 | 51,6 | 51,6 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 51,6 | 51,6 | 38,4 |
| 38,4 | 51,6 | 64,8 | 57,8 | 57,8 | 57,8 | 57,8 | 57,8 | 64,8 | 51,6 | 38,4 |
| 38,4 | 51,6 | 64,8 | 73,8 | 73,8 | 73,8 | 73,8 | 73,8 | 64,8 | 51,6 | 38,4 |
| 38,4 | 51,6 | 64,8 | 89,9 | 89,9 | 89,9 | 89,9 | 89,9 | 64,8 | 51,6 | 38,4 |
| 38,4 | 51,6 | 64,8 | 105,9 | 105,9 | 105,9 | 105,9 | 105,9 | 64,8 | 51,6 | 38,4 |
| 38,4 | 51,6 | 64,8 | 105,9 | 105,9 | 105,9 | 105,9 | 105,9 | 64,8 | 51,6 | 38,4 |
| 38,4 | 51,6 | 64,8 | 89,9 | 89,9 | 89,9 | 89,9 | 89,9 | 64,8 | 51,6 | 38,4 |
| 38,4 | 51,6 | 64,8 | 73,8 | 73,8 | 73,8 | 73,8 | 73,8 | 64,8 | 51,6 | 38,4 |
| 38,4 | 51,6 | 64,8 | 57,8 | 57,8 | 57,8 | 57,8 | 57,8 | 64,8 | 51,6 | 38,4 |
| 38,4 | 51,6 | 51,6 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 51,6 | 51,6 | 38,4 |
| 38,4 | 38,4 | 38,4 | 24,1 | 24,1 | 24,1 | 24,1 | 24,1 | 38,4 | 38,4 | 38,4 |



Obr. 6.3: Propad valivé koule

Materiál potřebný k realizaci tohoto návrhu je vybrán z nabídky sortimentu e-shopu Argos Elektro[26]. Níže je podrobná soupiska 6.23 všech součástí s katalogovým označením výrobce, potřebné množství a jejich ceny. Celková částka za tento materiál činí 629.280 Kč včetně DPH.

Tab. 6.23: Soupiska materiálu pro oddálený hromosvod (ceny převzaty z[26])

| Díl | Označení výrobce | Množství | Jednotková cena (Kč) | Celková cena (Kč) |
|-----------------------------|---------------------|----------|-------------------------|----------------------|
| Zkušební svorka | B8RW1 | 38 ks | 53,80 | 2.044,4 |
| Jímací tyč 4,5m se stativem | 105450 | 14 ks | 15.061,70 | 210.863,8 |
| Jímací tyč 3,5m se stativem | 105535 | 2 ks | 4.577,25 | 9.154,5 |
| Jímací tyč 3m se stativem | 105530 | 7 ks | 4.251,38 | 29.759,66 |
| Jímací tyč 2m | 104200 | 2 ks | 886,80 | 1.773,6 |
| Jímací tyč 1,5m | 104150 | 32 ks | 608,16 | 19.461,12 |
| Jímací tyč 1m | 101000 | 17 ks | 162,93 | 2.769,81 |
| Betonový podstavec | 102075 | 51 ks | 374,42 | 19.095,42 |
| Dilatační propojka | BY5Z5 | 17 ks | 59,46 | 1.010,82 |
| Podpěra | 253050 | 1445 ks | 65,69 | 94.922,05 |
| Křížová svorka | B8RD5 | 172 ks | 33,23 | 5.715,56 |
| Svorka drát/pásek | B8RS3 | 38 ks | 32,75 | 1.244,50 |
| Svorka pásek/pásek | 1HT87 | 70 ks | 19,75 | 1.382,5 |
| Svorka k jímací tyči | 1HKTZ | 74 ks | 32,91 | 2.435,34 |
| Podpěra svodu | BXW6H | 960 ks | 19,82 | 19.027,20 |
| Ochranný úhelník | 23993 | 38 ks | 382,60 | 14.538,8 |
| Držák ochranného úhelníku | 21074 | 130 ks | 30,03 | 3.903,9 |
| Vodič CUI | 830208 | 3 ks | 7.291,39 | 21.874,17 |
| Držák vedení CUI | 275220 | 12 ks | 98,54 | 1.182,48 |
| Drát AlMgSi 8mm | BB7A4 | 2764 m | 25,70 | 71.034,80 |
| Drát FeZn 10mm | 843YP | 365 m | 28,27 | 10.312,90 |
| Páska FeZn 30x3,5mm | 843UN | 1908 m | 44,95 | 85.772,32 |

6.3.2 Návrh B – neizolovaný hromosvod

Řešení druhé možnosti ochranného opatření je založeno na ekvipotenciálním pospojování, tedy spojení kovových částí konstrukce stavby. Využitím této metody jsou všechny svody skryté a viditelné části jímací soustavy jsou omezeny pouze na mřížovou soustavu spolu s jímacími tyčemi na střeše stavby. Vzniká tak neizolovaný

hromosvod. Díky změně vyrovnaní potenciálu do úrovně železobetonového armo-
vání střechy poklesly hodnoty bezpečné vzdálenosti, jak je patrné z tabulky 6.24,
několikanásobně.

Vypracované výkresy projektu se nachází v elektronické příloze B4-11.

Tab. 6.24: Bezpečné vzdálenosti S (cm), ekvipotenciální pospojování

| Vyšší část budovy | | | Nižší část budovy | | | | | Vyšší část budovy | | |
|-------------------|-------|------|-------------------|-------|-------|-------|------|-------------------|-------|------|
| 1,60 | 1,60 | 1,60 | 2,01 | 2,01 | 2,01 | 2,01 | 2,01 | 1,60 | 1,60 | 1,60 |
| 1,60 | 14,39 | 1,60 | 2,01 | 18,05 | 18,05 | 18,05 | 2,01 | 1,60 | 14,39 | 1,60 |
| 1,60 | 14,39 | 1,60 | 2,01 | 18,05 | 33,10 | 18,05 | 2,01 | 1,60 | 14,39 | 1,60 |
| 1,60 | 14,39 | 1,60 | 2,01 | 18,05 | 33,10 | 18,05 | 2,01 | 1,60 | 14,39 | 1,60 |
| 1,60 | 14,39 | 1,60 | 2,01 | 18,05 | 33,10 | 18,05 | 2,01 | 1,60 | 14,39 | 1,60 |
| 1,60 | 14,39 | 1,60 | 2,01 | 18,05 | 33,10 | 18,05 | 2,01 | 1,60 | 14,39 | 1,60 |
| 1,60 | 14,39 | 1,60 | 2,01 | 18,05 | 33,10 | 18,05 | 2,01 | 1,60 | 14,39 | 1,60 |
| 1,60 | 14,39 | 1,60 | 2,01 | 18,05 | 33,10 | 18,05 | 2,01 | 1,60 | 14,39 | 1,60 |
| 1,60 | 14,39 | 1,60 | 2,01 | 18,05 | 33,10 | 18,05 | 2,01 | 1,60 | 14,39 | 1,60 |
| 1,60 | 14,39 | 1,60 | 2,01 | 18,05 | 33,10 | 18,05 | 2,01 | 1,60 | 14,39 | 1,60 |
| 1,60 | 14,39 | 1,60 | 2,01 | 18,05 | 18,05 | 18,05 | 2,01 | 1,60 | 14,39 | 1,60 |
| 1,60 | 1,60 | 1,60 | 2,01 | 2,01 | 2,01 | 2,01 | 2,01 | 1,60 | 1,60 | 1,60 |

Všechny materiál pro instalaci tohoto návrhu je vybrán ze stejného e-shopu jako u prvního návrhu. V tabulce 6.25 je kompletní soupiska součástí, s celkovou cenou 875.657 Kč včetně DPH.

Tab. 6.25: Soupiska materiálu pro soustavu s ekvipotenciálním pospojováním (ceny převzaty z[26])

| Díl | Označení výrobce | Množství | Jednotková cena (Kč) | Celková cena (Kč) |
|-----------------------------|------------------|----------|----------------------|-------------------|
| Zkušební svorka | B8RW1 | 82 ks | 53,8 | 4.411,6 |
| Jímací tyč 4,5m se stativem | 105450 | 14 ks | 15.061,70 | 210.863,8 |
| Jímací tyč 3,5m se stativem | 105535 | 2 ks | 4.577,25 | 9.154,5 |
| Jímací tyč 3m se stativem | 105530 | 7 ks | 4.251,38 | 29.759,66 |
| Jímací tyč 2m | 104200 | 2 ks | 886,80 | 1.773,6 |
| Jímací tyč 1,5m | 104 150 | 32 ks | 608,16 | 19.461,12 |
| Jímací tyč 1m | 101000 | 17 ks | 162,93 | 2.769,81 |
| Betonový podstavec | 102075 | 51 ks | 374,42 | 19.095,42 |
| Dilatační propojka | BY5Z5 | 17 ks | 59,46 | 1.010,82 |
| Podpěra | 253050 | 1445 ks | 65,69 | 94.922,05 |
| Křížová svorka | B8RD5 | 455 ks | 33,23 | 15.19,65 |
| Svorka drát/pásek | B8RS3 | 108 ks | 32,75 | 3.537 |
| Svorka pásek/pásek | 1HT87 | 70 ks | 19,75 | 1.382,5 |
| Svorka k jímací tyči | 1HKTZ | 74 ks | 32,91 | 2.435,34 |
| Průchodka | 478430 | 82 ks | 1.059,05 | 86.842,1 |
| Drát AlMgSi 8mm | BB7A4 | 1810 m | 25,7 | 46.517 |
| Drát FeZn 8mm | 843XU | 10740 m | 22,75 | 244.335 |
| Páska FeZn 30x4mm | 843UN | 1830 m | 44,95 | 82.265,82 |

7 Zhodnocení návrhů hromosvodu

Stejně jako v každém technologickém odvětví je i při řešení ochrany před bleskem kladen důraz na hospodárnost projektu. Hromosvod musí nejen zabránit přímému úderu blesku do chráněného objektu, ale také musí být ekonomicky výhodný.

Tento aspekt je však ovlivněn technologickou a prostorovou náročností. Při procesu návrhu jímacího systému je důležité brát zřetel na rozsáhlost konstrukce, design anebo rozvržení konstrukčních prvků stavby a prostředí výstavby.

V případě námi řešeného komplexního objektu byly vypracovány 2 způsoby možného řešení hromosvodu.

7.1 Návrh A

Oddálený hromosvod, typicky instalovaný zejména u rodinných domů nebo jiných méně složitých budov. Díky své distanci od chráněného objektu zamezuje přímému kontaktu bleskového proudu s chráněným objektem.

Výhody a přednosti oddáleného hromosvodu byly již vysvětleny v kapitole 3.1.

Znevýhodněním tohoto návrhu je přímé vystavení jímací soustavy vnějším vlivům, což může zapříčinit jeho mechanické poškození. Svými prostorovými nároky také ovlivňuje využití okolního prostoru budovy, kdy musí být vnímány bezpečné vzdálenosti svodů v okolí instalovaných elektrických systémů vně budovy (antény, zabezpečovací systémy, vzduchotechnika atp.). Bezpečné, neboli přeskokové, vzdálenosti mohou u oddáleného hromosvodu dosahovat příliš vysokých hodnot, kdy už je nutné řešit tloušťku izolace střechy a potřebu dodatečných podpěr k oddálení prvků jímače od střechy.

Těmito skutečnostmi může být ovlivněn i samotný design budovy.[27]

7.2 Návrh B

Druhý návrh využívá ekvipotenciálního pospojování vodivých částí konstrukce. Princip této metody spočívá ve vyrovnání potenciálu všech elektricky vodivých částí, které za normálních podmínek zůstávají v beznapěťovém stavu, jak již bylo vysvětleno v kapitole 3.2. Svody jsou tedy vedeny železobetonovým armováním konstrukce stavby.

Využitím již existujících kovových prvků konstrukce výrazně klesají náklady na materiál nutný pro realizaci hromosvodu, odpadá i nutnost instalace vodících držáků svodů. Bleskový proud se díky použití většího množství svodových cest, než je tomu v případě oddáleného hromosvodu, odvede efektivněji a jednotlivé vodiče jsou méně

mechanicky a tepelně namáhané. Musí ovšem být zajištěné správné provedení spojů a uzemnění. [28][29]

U obzvláště rozsáhlých nebo vysokých staveb je vyrovnání potenciálu důležitou součástí, neboť rozdíl potenciálu u vzdálenosti od 18m může být příliš vysoký pro dodržení dostatečné vzdálenosti.[30]

Implementace potenciálového vyrovnání vyžaduje detailnější projektovou dokumentaci a odbornou montáž již při samotné výstavbě objektu. Skryté svody mají rizikovitost dodatečných nákladů při zjištění poškozeného spoje vlivem koroze či degradace materiálů. [29]

7.2.1 Cena montáže návrhů

K soupiskám obou návrhů A (tabulka 6.23) a B (tabulka 6.25) je nutné uvažovat také cenu montáže, která je jednoznačně závislá na technologickém postupu. V tabulce 7.1 se nachází soupis cen montáží podle aktuálních dat cenového ukazatele na webových stránkách rtscloud.cz [31].

Podle tohoto ceníku lze deklarovat výslednou částku za montáž návrhu A na necelých 860 tis. Kč. Montáž návrhu B pak vyjde na částku přibližně 1,6 mil. Kč.

Tab. 7.1: Soupiska cen montáže (ceny převzaty z [31])

| Montáž položky | Cena monáže |
|---------------------------------------|--------------|
| Svorka křížová | 75,45 Kč/ks |
| Svorka zkušební | 35,80 Kč/ks |
| Svorka k jímací tyči | 105,65 Kč/ks |
| Držák vedení po zdi | 172,00 Kč/ks |
| Držák vedení | 27,36 Kč/ks |
| Držák ochranného úhelníku | 55,60 Kč/ks |
| Ochranný úhelník | 174,20 Kč/ks |
| Páska FeZn | 92,50 Kč/m |
| Drát FeZn | 91,50 Kč/m |
| Drát AlMgSi | 142,00 Kč/m |
| Samostatně stojící jímací tyč nad 3 m | 572,00 Kč/ks |
| Samostatně stojící jímací tyč do 3 m | 458,50 Kč/ks |

7.3 Volba návrhu pro řešení multifunkční objekt

Vypracované návrhy v předchozí kapitole 6.3 obsahují detailní soupisky potřebného materiálu. Ačkoli ekonomicky vychází návrh A výhodněji, je pro budovy takovýchto rozměrů vhodnější instalace neizolovaného hromosvodu (návrh B) kvůli využití již přítomného kovového materiálu v armování a shodnému potenciálu napříč konstrukcí.

Rozpočet materiálu (tabulka 6.25) na vyhotovení návrhu B je sice vyšší, je to však dáno preferencí vedení svodů skrze materiál s udržitelnějšími vlastnostmi k zajištění delší životnosti spojení se zemí. Tento dodaný materiál, v soupisce drát FeZn 8mm, ovšem může snížit potřebné množství armovacího železa do železobetonové konstrukce. Uvažováním této skutečnosti a rozpočtu na celkovou výstavbu objektu tak mohou náklady na zhotovení návrhu B být efektivnější oproti návrhu A.

Důležitým aspektem je také cena montáže viz tabulka 7.1. U návrhu A jde o montáž dodatečnou po dokončení výstavby objektu, kdežto návrh B je instalován již během výstavby. Lze tak přiřadit k návrhu A celkovou cenu, 1,49 mil. Kč, jako náklady na vyhotovení samotné jímací soustavy. K návrhu B je možné přikládat snížení nákladů nejen na materiál konstrukčních prvků, ale i na jejich montáž. Finální částka návrhu B, 2,48 mil. Kč, tak může snížit náklady na výstavbu objektu jako takového.

Závěr

V rámci teoretické části práce byla provedena rešerše norem zabývajících se problematikou ochrany před bleskem. Nedílnou součástí řešení ochrany před působením nebezpečného bleskového proudu je analýza možných rizik. Proces celé analýzy je velmi komplexní, a je tak snadné provést numerickou chybu nebo se přehlédnout. Byly proto vyhledány 4 softwarové nástroje – DEHNsupport, Hakelsoft, OEZ Prozik a Milanův software pro analýzu rizika, které tento proces ulehčují.

Vyhledané softwarové prostředky byly využity k analýze rizik na zadaném fiktivním komplexním objektu. U takové stavby není zvažováno pouze riziko ztrát na lidských životech, jako je tomu u rodinných domů, ale i ztráty veřejných služeb a ekonomických hodnot. To zajistilo možnost rozsáhleji otestovat funkcionality každého ze softwarů k následnému porovnání a zhodnocení jejich využitelnosti. Výsledky rizik byly porovnány i s vlastními výpočty. Tím byla stanovena správnost u rozcházejících se výsledků softwarů.

K důkladnějšímu porovnání softwarů byly provedeny 2 typy výpočtů. U prvního typu byla využita každá nabízená funkce softwaru. Těmito funkcemi jsou možnosti charakterizace jednotlivých zón na základě jejich využití, možnosti přepočtů, normou udávaných, typických hodnot respektujících počty osob a jejich čas strávený v zóně nebo vnímání pouze typických hodnot při výpočtu ekonomických ztrát.

V tomto případě se hodnoty u softwarů Prozik, Hakelsoft a Milanova SW lišily minimálně a vlastní výpočet jejich správnost potvrdil. Co se týče analýzy DEHNsupport, riziko veřejných ztrát R2 je počítáno pouze pro typické hodnoty a ekonomické ztráty odlišným způsobem, proto se hodnoty nerovnaají a výsledek je téměř dvojnásobný.

U druhého způsobu výpočtu byly uvažovány pouze typické hodnoty a možnosti výpočtu nastaveny, co nejpodobněji k získání shodného výsledku. I přes to se však výsledky lišily. Vlastní výpočet potvrdil správnost výsledků nástroji Prozik a Hakelsoft, v případě Milanova SW se liší pouze riziko R4, neboť respektuje pouze zadané hodnoty. U DEHNsupport lze využít výpočtu typických hodnot jen za předpokladu, kdy není objekt rozdělen do zón, tudíž výsledky s tímto uvažováním nejsou relevantní.

Porovnání náročnosti průběhu analýzy využitých softwarů s vlastním výpočtem ukazuje, že kterýkoli z nástrojů je možné využít ke zlepšení efektivity práce i zamezení vzniku chyb, ke kterým může vlivem nepřehlednosti vlastního výpočtu dojít.

Výsledky více rizikové analýzy byly využity k návrhům ochranných opatření. Před samotným využitím metod, stanovujících pozice jímací soustavy, musely být vypočteny dostatečné vzdálenosti. K tomu byly využity 3 specializované softwary. V případě Hakelsoft a Milanova softwaru se výsledky ani postup zásadně neliší, rozdíl

spočívá jen ve způsobu počtu rozteče svodů. Hakelsoft vyžaduje vypsání konkrétní hodnoty, Milanův software rozteč vypočte ze zadaných rozměrů stavby a uvažuje konstantní rozteč po celém obvodu.

DEHN distance tool se od těchto dvou velmi liší. I přes sofistikovanější postup výpočtu vykazoval rozdílné hodnoty s výsledky vlastního výpočtu.

S vlastními výsledky bezpečné vzdálenosti byly vypracovány dva návrhy, A a B, jímací soustavy komplexního objektu. Na ty je možné nahlédnout v elektronické přílohách B1 až 11. K řešení bylo využito mřížové soustavy a grafické metody valící se koule. První návrh (A) je oddálený hromosvod, druhý návrh (B) využívá pospojování kovových prvků armování konstrukce.

Přednosti a nevýhody obou návrhů pak byly spolu s náklady na zhotovení porovnány v kapitole 7. Instalace oddáleného hromosvodu (návrh A) na řešený objekt vychází výhodněji ekonomicky o zhruba 1 mil. Kč (40 %). Pospojování armování konstrukce (návrh B) však svým technologickým přístupem může snížit náklady na celkovou výstavbu objektu, neboť použitý materiál slouží i jako nosný prvek železobetonového armování konstrukce. Vlastnosti návrhu B mají také důležitou roli ochrany vnitřní instalace, kterou u řešeného objektu z hlediska ochrany vnitřní elektroinstalace pomocí vyrovnání potenciálu je vhodné uvažovat.

Literatura

- [1] UNMZ. ČSN EN 62305-1, *Ochrana před bleskem - Část 1: Obecné principy*. Ed. 2. 2011.
- [2] UNMZ. ČSN EN 62305-2, *Ochrana před bleskem - Část 2: Řízení rizika*. Ed. 2. 2013.
- [3] UNMZ. ČSN EN 62305-3, *Ochrana před bleskem - Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života*. Ed. 2. 2012.
- [4] UNMZ. ČSN EN 62305-4, *Ochrana před bleskem - Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách*. Ed. 2. 2011.
- [5] *Časté otázky*. Online. AZ-Hromosvody. C2023. Dostupné z: <https://www.az-hromosvody.cz/caste-otazky/>. [cit. 2023-12-28].
- [6] PROCHÁZKA, Radek. *OCHRANA PŘED BLESKEM*. PDF. PowerWiki.cz. 2010. Dostupné z: https://www.powerwiki.cz/attach/Peg10/2010-22-08_Pr09.pdf. [cit. 2023-12-28].
- [7] *FARADAY CAGE APPLICATION*. Online. ORBITAL Lightning Protection Technologies. C2019. Dostupné z: https://www.orbitaltechs.com/product-345-faraday_cage_application.html. [cit. 2024-01-05].
- [8] *GUIDE TO BS:EN 62305*. Online. Kingsmill Industries. Dostupné z: <https://kingsmillindustries.com/product-guide/introduction-to-standards/guide-to-bsen-62305/>. [cit. 2024-01-07].
- [9] KLIMŠA, David. *Vnější a vnitřní ochrana před bleskem*. 2.-aktualizované. Praha: IN-EL, spol., 2014. ISBN 978-80-86230-98-6.
- [10] DEHN. *DEHNsupport Toolbox*. Online. Dostupné z: <https://www.dehn.cz/cs/dehnsupport>. [cit. 2023-11-10].
- [11] DEHN. *DEHNselect SPD Tool - Výběr ochranných přístrojů*. Online. 2017. Dostupné z: <https://www.dehn.cz/cs/dehnselect-spd-tool-vyber-ochrannych-pristroju>. [cit. 2023-11-10].
- [12] *Program DEHN support + TOOLS 3D nadstavba (program hromosvody)*. Online. Iris elektro s.r.o. 2023. Dostupné z: <https://www.ielektro.com/>. [cit. 2023-12-14].

- [13] *DEHNsupport System requirements and data backup*. PDF. 2019. Dostupné z: <https://www.dehn-international.com/en/dehnsupport-toolbox%E2%80%9393order-form>. [cit. 2024-02-28].
- [14] HAKEL SPOL. S R.O. *Hakelsoft*. Online. 2013. Dostupné z: <https://www.hakel.com/hakelsoft>. [cit. 2023-11-12].
- [15] ZÁVODNÍK, Michal. *Podpora OS Hakelsoft*. E-mailová komunikace, 3. května 2024 11:16. 2024. [cit. 2024-05-03].
- [16] *Příručka k programům Hakelsoft*. PDF. In: Hakel. 2015. Dostupné z: <https://www.hakel.com/hakelsoft#kestazeni>. [cit. 2023-12-22].
- [17] *Výpočtový program Prozik*. Online. OEZ. C2021-2023. Dostupné z: <https://www.oez.cz/podpora/softwareva-podpora/vypoctovy-program-prozik>. [cit. 2023-12-22].
- [18] HUBÁLEK, Adolf. *Podpora OS, OEZ Prozik*. E-mailová komunikace, 3. května 2024 11:38. 2024. [cit. 2024-05-03].
- [19] UNMZ. ČSN 33 2000-4-443, *Elektrické instalace budov - Část 4-44: Bezpečnost - Ochrana před rušivým napětím a elektromagnetickým rušením - Kapitola 443: Ochrana proti atmosférickým nebo spínacím přepětím*. Ed. 2. 2007.
- [20] *Milanův software pro analýzu rizika dle ČSN EN 62305-2 zdarma a včetně tisku*. Online. Kníška.eu. C2000-2023. Dostupné z: <https://www.kniska.eu/sw62305>. [cit. 2023-12-24].
- [21] *SWdownload*. Online. Kníška.eu. C2000-2023. Dostupné z: <https://www.kniska.eu/software/swdownload>. [cit. 2023-12-24].
- [22] *Kníška.eu*. Online. C2000-2023. Dostupné z: <https://www.kniska.eu/>. [cit. 2023-12-24].
- [23] ČNI. ČSN 73 5305, *Administrativní budovy a prostory*. Praha, 2005.
- [24] UNMZ. ČSN 73 0810, *Požární bezpečnost staveb -Společná ustanovení*. Praha, 2016.
- [25] *Ochrana před bleskem pro střechy kryté fólií — teorie, praxe a nejčastější chyby*. Online. Materiály pro stavbu. 2021. Dostupné z: <https://imaterialy.cz/rubriky/poruchy/ochrana-pred-bleskem-pro-strechy-kryte-folii-teorie-praxe-a-nejcastejsi-chyb48559-html/>. [cit. 2024-05-27].

- [26] *ARGOS Elektro: Hromosvod, instalační mat. a nářadí*. Online. C2024. Dostupné z: <https://argos.cz/sekce/6-hromosvod-instalacni-material>. [cit. 2024-05-16].
- [27] Isolated Down-Conductors Improved Lightning Protection for Rooftop or Outdoor Electrical Equipment. Online. Dostupné z: nvent.com, <https://1url.cz/91zU5>. [cit. 2024-05-18].
- [28] Facility Lightning Protection — Structures vs. Systems. Online. Dostupné z: vfclp.com, <https://vfclp.com/articles/facility-lightning-protection-structures-and-systems/>. [cit. 2024-05-18].
- [29] Lightning Protection Systems for Metal Construction Buildings: Answers to FAQ-s. Online. 2020. Dostupné z: <https://shorturl.at/NCG3U>. [cit. 2024-05-18].
- [30] Bonded vs Isolated Lightning Protection Concepts. Online. Dostupné z: easypower.com, https://www.easypower.com/files/Bonded_vs_Isolated_Lightning_Protection_Concepts_their_Application_to_Explosive_Areas.pdf. [cit. 2024-05-18].
- [31] *RTS DATA*. Online. RTS CLOUD. 2018. Dostupné z: <https://www.rtscloud.cz/>. [cit. 2024-05-28].

Seznam symbolů a zkratek

| | |
|--------------------------|--|
| D1 | Typ škody - úrazy živých bytostí dotykovým a krokovým napětím |
| D2 | Typ hmotné škody - mechanické poškození, výbuch, požár, uvolnění nebezpečných látek |
| D3 | Typ škody - porucha vnitřních systémů |
| EB | Ekvipotenciální pospojování (z anglického Equipotential bonding) |
| EMC | Elektromagnetická kompatibilita (z anglického Electromagnetic compatibility) |
| LEMP | Elektromagnetický impuls vyvolaný bleskem (z anglického Lightning Electromagnetic Impulse) |
| LPL | Hladina ochrany před bleskem (z anglického Lightning Protection Level) |
| LPZ | Zóna ochrany před bleskem (z anglického Lightning Protection Zone) |
| LPZ 0_A | Vnější zóna stavby s ohrožením přímého úderu blesku |
| LPZ 0_B | Vnější zóna stavby chráněna před bleskem |
| LPZ 1 | Vnitřní zóna stavby chráněna před bleskem |
| LPZ 2 | Vnitřní zóna stavby chráněna před bleskem s přepětovou ochranou |
| LPS | Systém ochrany před bleskem (z anglického Lightning Protection System) |
| L1 | Ztráty na lidských životech |
| L2 | Ztráty veřejné služby |
| L3 | Ztráty kulturního dědictví |
| L4 | Ztráty ekonomických hodnot |
| SPD | Koordinovaná přepětová ochrana (z anglického Surge Protective Device) |
| SPM | Ochranná opatření vnitřních systémů před LEMP (z anglického Surge Protection Measures) |
| S1 | Příčina poškození úderem blesku do stavby |

| | |
|---------------------------|--|
| S2 | Příčina poškození úderem blesku poblíž stavby |
| S3 | Příčina poškození úderem do připojených inženýrských sítí |
| S4 | Příčina poškození úderem poblíž připojených inženýrských sítí |
| a (%) | Odpisová míra |
| A_D (m^2) | Sběrná oblast osamocené jednoduché stavby |
| A'_D (m^2) | Sběrná oblast stavby se složitým tvarem |
| A_{DJ} (m^2) | Sběrná plocha osamocené sousedící stavby |
| A_I (m^2) | Sběrná plocha úderů do země poblíž vedení |
| A_L (m^2) | Sběrná plocha úderů zasahující vedení |
| A_M (m^2) | Sběrná oblast úderů blesku ve vzdálenosti 500 m od stavby |
| C_D (-) | Činitel polohy stavby |
| C_{DJ} (-) | Činitel polohy stavby osamocené sousedící stavby |
| C_E (-) | Činitel prostředí |
| C_I (-) | Činitel polohy vedení |
| C_L (-) | Náklady na celkové ztráty ve stavbě |
| C_{LD} (-) | Činitel určený stíněním, uzemněním a podmínkách izolování vedení |
| C_{LI} (-) | Činitel závislý na stínění, uzemnění a izolaci vedení |
| C_{LZ} (Kč) | Náklady na celkové ztráty v zóně |
| C_P (Kč) | Cena ochranných opatření |
| C_{PM} (Kč) | Roční náklady na ochranné opatření |
| C_{RL} (Kč) | Celková cena zbytkových ztrát |
| C_{RLZ} (Kč) | Náklady na celkové ztráty v zóně |
| C_T (-) | Činitel typu vedení |
| c_a (Kč) | Hodnotu zvířat v zóně |
| c_b (Kč) | Hodnota budov patřících k zóně |

| | |
|--------------|---|
| c_c (Kč) | Hodnota obsahu zóny |
| c_s (Kč) | Hodnota vnitřních systémů v zóně včetně jejich činnosti |
| c_t (Kč) | Celková hodnota stavby a jejího obsahu |
| H (m) | Výška stavby |
| H_P (m) | Výška nástavby od země |
| h_z (-) | Zvyšující činitel ztrát v případě zvláštních nebezpečí |
| I (kA) | Vrcholová hodnota bleskového proudu |
| i (%) | Úroková míra |
| K_{S1} (-) | Činitel vyjadřující účinnost stínění stavby |
| K_{S2} (-) | Činitel vyjadřující účinnost stínění uvnitř stavby |
| K_{S3} (-) | Činitel vyjadřující charakteristiku kabeláže |
| K_{S4} (-) | Činitel vyjadřující výdržné impulsní napětí systému |
| k_c (-) | Koeficient závisející na počtu svodů |
| k_i (-) | Koeficient vyjadřující třídu LPS |
| k_m (-) | Koeficient vyjadřující elektrickou izolaci materiálu |
| L (m) | Délka stavby |
| L_A (-) | Ztráta lidského života v důsledku dotykového a krokového napětí po úderu blesku do stavby |
| L_{A4} (-) | Ztráta ekonomických hodnot na zvířatech způsobena úderem blesku do stavby |
| L_{B1} (-) | Ztráta lidského života v důsledku hmotné škody po úderu blesku do stavby |
| L_{B2} (-) | Ztráta veřejných služeb zapříčiněná hmotnou škodou po úderu blesku do stavby |
| L_{B4} (-) | Ztráta ekonomických hodnot zapříčiněná hmotnou škodou po úderu blesku do stavby |

| | |
|--------------|---|
| L_{C1} (-) | Ztráta na životech v důsledku poruchy vnitřních systémů po úderu blesku do vedení |
| L_{C2} (-) | Ztráta veřejných služeb způsobena poruchou vnitřních systémů po úderu blesku do stavby |
| L_{C4} (-) | Ztráta ekonomických hodnot po úderu blesku do stavby |
| L_{F1} (-) | Typický střední počet obětí způsobený hmotnou škodou |
| L_{F2} (-) | Typický střední počet neobsloužených uživatelů |
| L_{F4} (-) | Typická střední hodnota veškerého majetku poškozeného hmotnou škodou |
| L_L (m) | Délka sekce vedení |
| L_{M1} (-) | Typický střední počet obětí způsobený poruchou vnitřních systémů po úderu blesku v blízkosti stavby |
| L_{M2} (-) | Ztráta veřejných služeb způsobena poruchou vnitřních systémů po úderu blesku v blízkosti stavby |
| L_{M4} (-) | Ztráta ekonomických hodnot po úderu blesku poblíž stavby |
| L_{O1} (-) | Typický střední počet obětí způsobený poruchou vnitřních systémů po úderu blesku do stavby |
| L_{O2} (-) | Typický střední počet neobsloužených uživatelů způsobena poruchou vnitřních systémů po úderu blesku do stavby |
| L_{O4} (-) | Typická střední hodnota všeho majetku poškozeného poruchou vnitřních systémů |
| L_{T1} (-) | Typický střední počet obětí úrazu elektrickým proudem |
| L_{T4} (-) | Typická hodnota všeho majetku (zvířat) poškozeného elektrickým šokem |
| L_{U1} (-) | Ztráta na životech v důsledku dotykového a krokového napětí po úderu blesku do vedení |
| L_{U4} (-) | Ztráta ekonomických hodnot na zvířatech po úderu blesku do vedení |
| L_{V1} (-) | Ztráta na životech v důsledku hmotné škody po úderu blesku do vedení |

| | |
|---|--|
| L_{V2} (-) | Typický střední počet neobsloužených uživatelů zapříčiněná hmotnou škodou po úderu blesku do stavby |
| L_{V4} (-) | Ztráta ekonomických hodnot po úderu blesku do vedení |
| L_{W1} (-) | Typický střední počet obětí způsobený poruchou vnitřních systémů po úderu blesku do vedení |
| L_{W2} (-) | Ztráta veřejných služeb způsobena poruchou vnitřních systémů po úderu blesku do vedení |
| L_{W4} (-) | Ztráta ekonomických hodnot po úderu blesku do vedení |
| L_{Z1} (-) | Typický střední počet obětí způsobený poruchou vnitřních systémů po úderu blesku poblíž vedení |
| L_{Z2} (-) | Ztráta veřejných služeb způsobena poruchou vnitřních systémů po úderu blesku poblíž vedení |
| L_{Z4} (-) | Ztráta ekonomických hodnot po úderu blesku poblíž vedení |
| l (m) | Délka dráhy svodu od zjišťovaného bodu k nejbližšímu bodu zemnicí soustavy nebo EB |
| m (%) | Míra údržby |
| N_D ($1 \cdot \text{rok}^{-1}$) | Počet nebezpečných událostí pro stavbu za rok |
| N_{DJ} ($1 \cdot \text{rok}^{-1}$) | Počet nebezpečných událostí pro sousedící stavbu za rok |
| N_G ($\text{km}^2 \cdot \text{rok}^{-1}$) | Počet úderů blesku do země |
| N_I ($1 \cdot \text{rok}^{-1}$) | Počet nebezpečných událostí způsobených úderem poblíž vedení |
| N_L ($1 \cdot \text{rok}^{-1}$) | Počet nebezpečných událostí způsobených úderem do vedení |
| N_M ($1 \cdot \text{rok}^{-1}$) | Počet nebezpečných událostí způsobených úderem poblíž stavby |
| N_X ($1 \cdot \text{rok}^{-1}$) | Počet nebezpečných událostí |
| n_t (1) | Počet osob ve stavbě |
| n_{z1} (1) | Počet osob v zóně |
| n_{z2} (1) | Celkový počet obsluhovaných uživatelů ve stavbě |
| P_A (-) | Pravděpodobnost úrazu živých bytostí vlivem dotykového a krokového napětí při úderu blesku do stavby |

| | |
|-------------------------------------|---|
| P_B (-) | Pravděpodobnost hmotné škody zapříčiněné úderem do stavby |
| P_C (-) | Pravděpodobnost poruchy vnitřních systémů zapříčiněné úderem blesku do stavby |
| P_{EB} (-) | Související pravděpodobnost ovlivněná ekvipotenciálním pospojováním a hladinou LPL pro navržené SPD |
| P_{LD} (-) | Související pravděpodobnost poruchy vnitřních systémů |
| P_{LI} (-) | Související pravděpodobnost závislá na charakteristikách vedení |
| P_M (-) | Pravděpodobnosti poruchy vnitřních systémů úderem poblíž stavby |
| P_{MS} (-) | Snižující pravděpodobnost, závislé na instalaci, výdržném napětí a stínění a získá se součinem |
| P_{SPD} (-) | Související pravděpodobnost poruchy vnitřních systémů zapříčiněné úderem blesku do stavby, závislé na SPD |
| P_{TA} (-) | Pravděpodobnost související s úrazem osob při úderu blesku do stavby, ovlivněná doplňujícím ochranným opatřením |
| P_{TU} (-) | Související pravděpodobnost, ovlivněná využitím fyzických zábran či výstražných nápisů |
| P_U (-) | Pravděpodobnost úrazu uvnitř stavby vlivem dotykového napětí při úderu do vedení |
| P_V (-) | Pravděpodobnost, že dojde k hmotné škodě po úderu blesku do vedení |
| P_W (-) | Pravděpodobnost, že dojde k poruše vnitřních systémů po úderu blesku do vedení |
| P_X (-) | Pravděpodobnost poškození stavby |
| P_Z (-) | Pravděpodobnost, že dojde k poruše vnitřních systémů po úderu blesku poblíž vedení |
| R_A (1·rok⁻¹) | Součást rizika vztažená k úrazu živých bytostí zapříčiněným úrazem elektrickým proudem při dotykovém a krokovém napětí při úderu blesku do stavby |
| R_B (1·rok⁻¹) | Součást rizika vztažená k hmotné škodě působením nebezpečným jiskřením uvnitř stavby při úderu blesku do stavby |

- R_C ($1 \cdot \text{rok}^{-1}$) Součást rizika představující poruchy vnitřních systémů způsobené elektromagnetickým impulzem vyvolaným úderem blesku do stavby
- R_M ($1 \cdot \text{rok}^{-1}$) Součást rizika představující poruchy vnitřních systémů způsobené LEMP při úderu poblíž stavby
- R_T ($1 \cdot \text{rok}^{-1}$) Přípustná hladina rizika
- R_U ($1 \cdot \text{rok}^{-1}$) Součást rizika vztahovaná k úrazu živých bytostí elektrickým proudem při dotykovém a krokovém napětí uvnitř stavby zapříčiněným bleskovým proudem injektovaným do připojeného vedení stavby
- R_V ($1 \cdot \text{rok}^{-1}$) Součást rizika zastupující hmotné škody (požár či výbuch iniciované nebezpečným jiskřením mezi venkovní instalací a kovovými částmi stavby), způsobené přeneseným bleskovým proudem přes nebo podél vstupujícího vedení
- R_W ($1 \cdot \text{rok}^{-1}$) Součást rizika náležející k poruše vnitřních systémů způsobené přepětími indukovanými do vstupních vedení a přenesenými do stavby
- R_x ($1 \cdot \text{rok}^{-1}$) Dílčí součást rizika
- R_Z ($1 \cdot \text{rok}^{-1}$) Součást rizika náležející k poruše vnitřních systémů způsobené přepětími indukovanými do vstupních vedení stavby
- R_1 ($1 \cdot \text{rok}^{-1}$) Riziko ztrát na lidských životech
- R_2 ($1 \cdot \text{rok}^{-1}$) Riziko ztrát veřejných služeb
- R_3 ($1 \cdot \text{rok}^{-1}$) Riziko ztrát kulturního dědictví
- R_4 ($1 \cdot \text{rok}^{-1}$) Riziko ztrát ekonomických hodnot
- R'_4 ($1 \cdot \text{rok}^{-1}$) Riziko vyjadřující ztrátu hodnot v chráněné stavbě
- R_{4Z} ($1 \cdot \text{rok}^{-1}$) Riziko vyjadřující ztrátu hodnot v nechráněné zóně
- R'_{4Z} ($1 \cdot \text{rok}^{-1}$) Riziko vyjadřující ztrátu hodnot v chráněné zóně
- r (m) Poloměr valící se koule
- r_{f1} (-) Činitel snižující ztráty v závislosti na riziku požáru či výbuchu
- r_{f2} (-) Snižující činitel ztrát v závislosti na riziku požáru

| | |
|----------------------------------|--|
| r_{p1} (-) | Činitel snižující ztráty v závislosti na použitých opatření ke snížení následků požáru |
| r_{p2} (-) | Snižující činitel ztrát v závislosti na použitých opatření ke snížení následků požáru |
| r_{p4} (-) | Činitel snižující ztráty na základě instalovaných opatření ke snížení následků požáru |
| r_t (-) | Činitel snižující ztráty životů v závislosti na typu půd a podlah zóny |
| S_M (Kč) | Roční úspora |
| s (m) | Dostatečná vzdálenost |
| T_D (dnů·rok ⁻¹) | Počet bouřkových dnů v oblasti stavby |
| t_z (hodin·rok ⁻¹) | Čas kdy jsou osoby přítomné v zóně |
| U_W (kV) | Výdržné impulsní napětí chráněného zařízení |
| W (m) | Šířka stavby |
| w_m (m) | Maximální rozměry ok sítě |

Seznam příloh

| | | |
|---|------------------------------|----|
| A | Obsah elektronické přílohy A | 81 |
| B | Obsah elektronické přílohy B | 82 |

A Obsah elektronické přílohy A

A1 - OEZ Prozik upřesňující parametry.pdf

A2 - Hakelsoft upřesňující parametry.pdf

A3 - Milanův software upřesňující parametry.pdf

A4 - DEHNSupport upřesňující parametry.pdf

A5 - OEZ Prozik typické hodnoty.pdf

A6 - Hakelsoft typické hodnoty.pdf

A7 - Milanův software typické hodnoty.pdf

Všechny tyto přílohy obsahují generované výstupy ze softwarových nástrojů pro analýzu rizik, jejichž výsledky a zhodnocení jsou popisovány v kapitole 6.2. Názvy souborů odpovídají názvům softwarům, ze kterých byl výstup generován, dále také upřesňuje konkrétní typ analýzy rizik.

B Obsah elektronické přílohy B

- B1 - Oddálený hromosvod č.1.pdf = zemnicí soustava oddáleného hromosvodu
- B2 - Oddálený hromosvod č.2.pdf = mřížová soustava střechy 3. patra
- B3 - Oddálený hromosvod č.3.pdf = mřížová soustava střechy 7. patra
- B4 - Neizolovaný hromosvod č.1.pdf = zemnicí soustava neizolovaného hromosvodu
- B5 - Neizolovaný hromosvod č.2.pdf = spojení v armování 2. patra pod povrchem
- B6 - Neizolovaný hromosvod č.3.pdf = spojení v armování 1. patra
- B7 - Neizolovaný hromosvod č.4.pdf = spojení v armování 3. patra
- B8 - Neizolovaný hromosvod č.5.pdf = spojení v armování 5. patra
- B9 - Neizolovaný hromosvod č.6.pdf = spojení střešního armování, 7. patro
- B10 - Neizolovaný hromosvod č.7.pdf = vnější mřížová soustava střechy ve 3. patře
- B11 - Neizolovaný hromosvod č.8.pdf = vnější mřížová soustava střechy v 7. patře