

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2024

Patrik Paclík



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

ANALÝZA TECHNICKÝCH PROVEDENÍ OCHRANY PŘED BLESKEM KOMERČNÍHO OBJEKTU S FV VÝROBNOU

ANALYSIS OF THE TECHNICAL DESIGNS OF LIGHTNING PROTECTION FOR A COMMERCIAL BUILDING
WITH PV POWER PLANT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Patrik Paclík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Ptáček, Ph.D.

BRNO 2024

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Patrik Paclík

ID: 240782

Ročník: 3

Akademický rok: 2023/24

NÁZEV TÉMATU:

Analýza technických provedení ochrany před bleskem komerčního objektu s FV výrobou

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Provedení rešerše norem, vyhlášek a související předpisů s návrhem bleskosvodu a fotovoltaické elektrárny
2. Výpočet rizik, návrh možného řešení v několika variantách; návrh možného využití střechy pro fotovoltaickou elektrárnu
3. Provedení variantních návrhů bleskosvodu pro zadaný objekt a návrh fotovoltaické elektrárny
4. Vypracování rozpočtů a porovnání řešených variant

DOPORUČENÁ LITERATURA:

doporučená literatura podle pokynů vedoucího závěrečné práce a konzultanta

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

Hlavním cílem práce je problematika ochrany před bleskem a přepětím a ukázka její praktické aplikace na úrovni fiktivního objektu. V souvislosti s tím je provedena rešerše aktuálně platných norem a právních předpisů a uveden základní výčet požadavků na tvorbu související projektové dokumentace. Klíčovým doplňkem je syntéza ochrany před bleskem a přepětím s ochranou fotovoltaických panelů umístěných na střešní konstrukci objektu, a jsou analyzována rizika s vnější a vnitřní ochranou. Součástí práce je také vyhodnocení možné kolize při aplikaci vnější ochrany před bleskem a fotovoltaických panelů a prevence šíření případného požáru ze střechy na objekt. Tři různá technická provedení vnější ochrany před bleskem jsou porovnána z hlediska estetiky, finančních nákladů a praktičnosti.

Klíčová slova

Analýza rizik, blesk, fotovoltaický panel, hromosvod, ochrana, ochrana před bleskem, ochranný vodič, přepětí, riziko, škoda.

Abstract

The main objective of the thesis is the issue of lightning and surge protection and demonstration of its practical application at the level of a fictitious object. In the context of this, a search of the currently valid standards and legislation is carried out and a basic list of requirements for the creation of related project documentation is given a key complement of the thesis is the synthesis of lightning and surge protection with the protection of photovoltaic panels located on the roof structure of the building, where the issue of possible damage after lightning strike is addressed and the risks with external and internal protection are analysed. The thesis also includes an evaluation of possible collision in the application of lightning protection and photovoltaic panels, as well as the prevention of the spread of a possible fire from the roof to the object. Three different technical designs of external lightning protection are compared in terms of aesthetics, financial costs and practicality.

Keywords

Damage, lightning, lightning conductor, lightning protection, protective conductor, photovoltaic panel, risk, risk analysis, surge.

Bibliografická citace

PACLÍK, Patrik. Analýza technických provedení ochrany před bleskem komerčního objektu s FV výrobou [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-28]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/159548>. 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 studenta: *Patrik Paclík*

VUT ID studenta: *240782*

Typ práce: *Bakalářská práce*

Akademický rok: *2023/24*

Téma závěrečné práce: *Analýza technických provedení ochrany před bleskem komerčního objektu s FV výrobou*

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 jsem si 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.

V Brně dne: 28. května 2024

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalovi Ptáčkovi Ph.D. za vedení a za účelné poznámky při psaní této práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Janovi Novotnému za rady odborného charakteru k danému tématu.

V Brně dne: 28. května 2024

podpis autora

Obsah

| | |
|---|-----------|
| SEZNAM OBRÁZKŮ | 9 |
| SEZNAM TABULEK | 10 |
| ÚVOD | 11 |
| 1. BLESK A ZTRÁTY ZPŮSOBENÉ JEHO VLASTNOSTMI | 12 |
| 1.1 PARAMETRY BLESKOVÉHO PROUDU | 12 |
| 1.2 ŠKODY A ZTRÁTY ZPŮSOBENÉ BLESKEM..... | 13 |
| 2. OCHRANA PŘED BLESKEM | 15 |
| 2.1 ANALÝZA RIZIKA..... | 15 |
| 2.2 SKLADBA HROMOSVODU A VÝPOČET DOSTATEČNÉ (PŘESKOKOVÉ) VZDÁLENOSTI „S“ | 16 |
| 2.2.1 <i>Jímače</i> | 17 |
| 2.2.2 <i>Svody</i> | 17 |
| 2.2.3 <i>Zemniče</i> | 18 |
| 2.2.4 <i>Dostatečná vzdálenost</i> | 19 |
| 2.2.5 <i>Izolované hromosvody</i> | 20 |
| 2.3 OCHRANA VNITŘNÍCH SYSTÉMŮ | 21 |
| 2.3.1 <i>Umístění systému</i> | 21 |
| 2.3.2 <i>Eliminace přepětí</i> | 22 |
| 3. FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA | 23 |
| 3.1 OCHRANA PROTI PŘEPĚTÍ SPÍNACÍMU NEBO ATMOSFÉRICKÉHO PŮVODU | 23 |
| 3.2 POŽADAVKY NA ELEKTRICKÉ KABELY Z POHLEDU FVE..... | 24 |
| 3.3 OCHRANNÉ VODIČE A VODIČE OCHRANNÉHO POSPOJENÍ | 24 |
| 3.4 ORIENTACE A ROZLOŽENÍ PANELŮ..... | 25 |
| 4. POŽÁRNÍ BEZPEČNOST | 26 |
| 5. POPIS OBJEKTU | 27 |
| 6. VÝPOČET ANALÝZY RIZIK | 29 |
| 6.1.1 <i>Parametry chráněného objektu</i> | 29 |
| 6.1.2 <i>Pravděpodobnost úderů do stavby a typy ztrát</i> | 29 |
| 6.1.3 <i>Odhad rozsahu ztráty</i> | 30 |
| 7. PROVEDENÍ VARIANTNÍCH NÁVRHŮ BLESKOSVODU | 34 |
| 7.1 VARIANTA A – ODDÁLENÝ BLESKOSVOD SE SVODY PO FASÁDĚ OBJEKTU..... | 36 |
| 7.1.1 <i>Jímací soustava</i> | 36 |
| 7.1.2 <i>Soustava svodů</i> | 42 |
| 7.1.3 <i>Zemnicí soustava</i> | 43 |
| 7.1.4 <i>Seznam použitého materiálu</i> | 43 |
| 7.1.5 <i>Zhodnocení</i> | 45 |
| 7.2 VARIANTA B – BLESKOSVOD PŘIPOJENÝ NA OCELOVÝ SKELET STAVBY | 45 |
| 7.2.1 <i>Jímací soustava</i> | 46 |
| 7.2.2 <i>Seznam použitého materiálu</i> | 50 |
| 7.2.3 <i>Zhodnocení</i> | 51 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 7.3 | VARIANTA C – VYUŽITÍ HVI KOMPONENTŮ..... | 51 |
| 7.3.1 | <i>Jímací soustava</i> | 52 |
| 7.3.2 | <i>Soustava svodů</i> | 57 |
| 7.3.3 | <i>Zemnicí soustava</i> | 57 |
| 7.3.4 | <i>Seznam použitého materiálu</i> | 57 |
| 8. | ZÁVĚR | 59 |
| | BIBLIOGRAFIE | 63 |
| | SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK | 66 |
| | SEZNAM PŘÍLOH | 68 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obrázek 5.1 Vizualizace objektu: a) pohled na jižní část, b) pohled na severní část, c) pohled na východní část, d) pohled na západní část | 27 |
| Obrázek 7.1 Půdorys budovy a její rozdělení na bloky s výškou jednotlivých úrovní střeš měřenou od zapraveného terénu..... | 35 |
| Obrázek 7.2 Vypočtená dostatečná vzdálenost (mm) Varianty A pro jednotlivé bloky, kde čísla v závorkách označují koeficient k_m | 37 |
| Obrázek 7.3 Ochrana fotovoltaických panelů: a) pomocí izolovaných jímacích tyčí, b) ochranný prostor nad fotovoltaickými panely | 38 |
| Obrázek 7.4 Ochrana vzduchotechniky: a) sestava DEHNico-Combi, b) vytvořený ochranný prostor nad vzduchotechnikou..... | 38 |
| Obrázek 7.5 Ochrana FVE: a) oddálení vodiče hromosvodu od FVE, b) ochranný prostor nad blokem C39 | |
| Obrázek 7.6 Jímač na bloku A: a) izolační jímací tyče ve stojanu, b) ochranný prostor nad blokem A..... | 39 |
| Obrázek 7.7 Jímač na bloku K: a) doplnění o metrové jímací tyče na obvodovém vedení, b) ochranný prostor nad blokem K vytvořený obvodovým vedením a vnějším LPS na bloku J..... | 40 |
| Obrázek 7.8 a) Mřížový jímač na bloku J, b) ochranný prostor nad blokem J | 40 |
| Obrázek 7.9 Ochrana bloku F: a) mřížový jímač po optimalizaci, b) ochranný prostor nad blokem F | 41 |
| Obrázek 7.10 Ochrana severního a jižního bloku: a) jímač tvořený soustavou svodů na jižním bloku, b) ochranný prostor nad jižním blokem..... | 41 |
| Obrázek 7.11 Propojení svodů bloku C: a) pohled ze severozápadu, b) pohled ze severovýchodu | 42 |
| Obrázek 7.12 Vypočtená maximální dostatečná vzdálenost (mm) Varianty B pro jednotlivé bloky, kde čísla v závorkách označují koeficient k_m | 47 |
| Obrázek 7.13 Ochrana bloku A: a) jímač vytvořený pomocí 3 tyčí, b) vytvořený ochranný prostor nad blokem A..... | 48 |
| Obrázek 7.14 Jímač na bloku K: a) obvodové vedení na atice bloku, b) ochranný prostor nad blokem K..... | 48 |
| Obrázek 7.15 Ochrana bloku I: a) jímací tyče chránící vzduchotechniku a FVE, b) ochranný prostor..... | 49 |
| Obrázek 7.16 a) syntéza LPS a FVE, b) ochranný prostor celé budovy – pohled z jihovýchodu..... | 49 |
| Obrázek 7.17 Ochrana bloku F: a) doplnění o jímací tyče chránící světlíky, b) ochranný prostor | 50 |
| Obrázek 7.18 Ochrana severního a jižního bloku: a) jímač řešený mřížovou soustavou na jižním bloku, b) vytvořený ochranný prostor na jižním bloku | 50 |
| Obrázek 7.19 Připojení vodiče HVI: a) na obvodové vedení, b) vyznačení oblasti koncovky pomocí fiktivního válce..... | 52 |
| Obrázek 7.20 Vypočtená maximální dostatečná vzdálenost (mm) Varianty C pro jednotlivé bloky, kde čísla v závorkách označují koeficient k_m | 53 |
| Obrázek 7.21 Jímací soustava na bloku K: a) vyznačení oblasti koncovky (červený válec) a přerušené okružní vedení pro potenciální vstup na střeš, b) ochranný prostor nad blokem K | 54 |
| Obrázek 7.22 Dodržení oblasti koncovky: a) po úpravách rozmístění FVE, b) ochranný prostor nad blokem C a I..... | 55 |
| Obrázek 7.23 Jímací soustava nad blokem J: a) odstraněný spoj umožňující vstup osobám, b) ochranný prostor nad blokem J | 55 |
| Obrázek 7.24 Ochrana bloku F: a) ochrana světlíků přidáním izolovaných jímacích tyčí, b) ochranný prostor bloku F | 56 |
| Obrázek 7.25 Ochrana severního a jižního bloku: a) část jímací soustavy na jižním bloku, b) ochrana severního a jižního bloku | 56 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tabulka 1-1 Poškození a ztráty. Čerpáno z [2] | 14 |
| Tabulka 2-1 Hodnoty přípustného rizika RT [2]..... | 15 |
| Tabulka 8-1 Grafické zhodnocení zpracovaných variant..... | 62 |

ÚVOD

Bouřková činnost je všudypřítomný přírodní úkaz, který nelze nikterak ovlivnit. Počet bouřkových dní a úderů blesku je sice pro různá území značně odlišná, nicméně bleskům nelze nijak zabránit ani předejít. Dokonce ještě několik sekund před úderem není možné s jistotou určit, kdy a kde k výboji dojde, pokud vůbec. Před účinky blesků se tedy musíme chránit preventivně, po celou dobu existence chráněného objektu.

Ochrana před bleskem spočívá ve vnějším systému ochrany – hromosvodu. Ten má za úkol zachytit blesk a bezpečně ho svést do země, aniž by došlo k přeskoku na jiné části objektu k tomu neurčené. Vnitřní systém ochrany chrání zejména instalaci a přístroje uvnitř objektu před přepětím vzniklých ať už atmosférickým výbojem nebo přepětím vzniklých ze spínacích procesů. Atmosférické přepětí může být vyvoláno právě úderem blesku do stavby nebo vedení nebo v jejich blízkosti.

V případě, že součástí objektu má být i výroba elektrické energie v podobě fotovoltaické elektrárny umístěná na střeše tohoto objektu, je nezbytné technicky správně navrhnout samotnou výrobu a rovněž posoudit či optimalizovat i návrh vnější ochrany před bleskem. To znamená, že fotovoltaické panely mají být v ideálním případě v ochranném prostoru hromosvodu, má být dodržena dostatečná vzdálenost mezi systémem elektrárny a jímačem a musí dojít k zamezení vzniku přepětí v systému.

Práce popisuje vhodná opatření a postupy při návrhu ochrany před bleskem, výčet možných provedení a jejich vzájemné porovnání. Konkrétně práce informuje o možných rizicích při případném zanedbání vnější ochrany před bleskem, resp. je popsána i vlastní ochrana. Součástí práce jsou také popisy požadavků na instalaci výroby elektrické energie, pakliže má být součástí zájmového objektu a poslední ryze teoretická kapitola popisuje požární ucpávky vedení prostupující mezi vnitřními prostory objektu a jeho střechou. Praktická část práce je uvedena charakteristikou objektu, následuje výpočet analýzy rizik a dále jsou zpracována tři technická provedení hromosvodu.

1. BLESK A ZTRÁTY ZPŮSOBENÉ JEHO VLASTNOSTMI

Před samotným zabýváním se ochranou před bleskem a přepětím bude nejdříve v následujících podkapitolách popsáno, jak se blesk chová, co představuje a jaké může mít důsledky. Přestože budou poznatky v práci přejímány z několika pramenů, hlavním zdrojem informací bude aktuálně platná norma ČSN EN 62305 ed. 2, konkrétněji pak všechny její samotné čtyři části [1], [2], [3], [4].

1.1 Parametry bleskového proudu

Blesk je atmosférický elektrický výboj vytvářející zajímavý přírodní úkaz, který ale po celou dobu existence lidstva přináší různá nebezpečí. Při zaměření se pouze na blesk sestupující z mraku na zem nesou kroupy ve výšce několika kilometrů nad zemským povrchem elektrický náboj, který má opačnou polaritu než náboj zemského povrchu, takzvaný zrcadlový náboj. V momentě, kdy intenzita elektrického pole překročí izolační pevnost ovzduší, se začne vytvářet atmosférický výboj. Při přiblížení sestupného blesku k zemskému povrchu na několik desítek metrů začne postupovat vstřícný výboj. Vzniká ionizovaný kanál o průměru několika centimetrů s výbornou elektrickou vodivostí a teplotou několika tisíc stupňů Celsia. Termická ionizace, vzniklá vysokou teplotou kanálu, zachovává kanál určitý čas vodivý a může se skrze něj vybit ještě několik dílčích výbojů. Ty jsou však charakterizovány menší amplitudou proudu a kratší dobou trvání. Teplotní roztažností vzduchu dochází k tlakové vlně doprovázenou silným zvukovým efektem nazývaným hromem. V momentě svedení bleskového proudu na pevné skupenství (strom, střecha) je proudovodná dráha namáhána tepelnými účinky blesku a může dojít ke vznícení daného materiálu (například nedokonale vyschlé dřevo). Rovněž může dojít i ke vzplanutí vyvolaným jiskřením při přeskoku blesku mezi dvěma proudovodnými drahami. Právě přítomnost vlhkosti v materiálu způsobuje další negativní účinky. Při nemožnosti unikání odparu z materiálu může vyvíjený tlak způsobit jeho explozi. [5]

Česká verze evropské normy ČSN EN 62305-1 [1] pojednává o dvou typech blesků, a sice úder blesku z mraku na zem (sestupný lídr), nebo výbojem z uzemněné stavby k mraku (vzestupný lídr). Všechny parametry vzestupných blesků jsou nižší než blesků sestupných, a proto se považují rizika vzestupných blesků za pokrytá opatřením pro blesky sestupné.

Při svádění blesku hromosvodní soustavou (tj. materiály tvořící jímače, svody i uzemnění) je vedení namáháno mechanickými a tepelnými účinky blesku. Velikost mechanického namáhání ovlivňuje vrcholová hodnota proudu I . Energie vyzářená na elementu elektrického odporu (W/R) vedení nadměrně zahřívá. Strmost čela bleskového proudu (di/dt) ovlivňuje induktivní vazbu a mohou vznikat přepětí, či nebezpečná

jiskření. Dle ČSN EN 62305-1 a její přílohy A [1] mohou základní parametry nabývat následujících hodnot, kde Q_{flash} je náboj blesku a Q_{short} je impulzní výboj.

$$I = 200 \text{ kA,}$$

$$Q_{\text{flash}} = 300 \text{ C,}$$

$$Q_{\text{short}} = 100 \text{ C,}$$

$$W/R = 10 \text{ MJ}/\Omega \text{ a}$$

$$di/dt = 20 \text{ kA}/\mu\text{s}.$$

Hodnoty jsou stanoveny z kladných blesků, protože jejich hodnoty jsou mnohem větší než blesků záporných [1]. Kladný blesk sestupuje z mraku do země a přenáší kladný náboj [5].

Velikost náboje se může jevit jako poměrně nízká. Čas vybíjení náboje do země je ale řádově několik μs , tudíž i hodnoty proudu dosahují několika stovek kA.

1.2 Škody a ztráty způsobené bleskem

Norma ČSN EN 62305-2 ed2 [2] a její kapitola 4 „Vysvětlení termínů“ pojednává o škodách a ztrátách způsobenými bleskovým proudem a dělí je do třech podskupin.

- a) Příčiny poškození: Úder do stavby S1
 - Úder v blízkosti stavby S2
 - Úder do vedení S2
 - Úder v blízkosti vedení S4
- b) Typy škod:
 - Úraz živých bytostí elektrickým proudem D1
 - Hmotná škoda D2
 - Porucha elektrických a elektronických systémů D3
- c) Typy ztrát:
 - Ztráty na lidských životech včetně trvalých následků L1
 - Ztráty na veřejných službách L2
 - Ztráty na kulturním dědictví L3
 - Ztráty ekonomické hodnoty L4

Každá příčina poškození vyvolá jistou škodu, která může způsobit některý typ ztrát. Názorná ilustrace je zobrazena v Tabulka 1-1 [2]. Pro lepší pochopení významu jednotlivých parametrů uvedených v Tabulka 1-1 [2] je vhodné poskytnout následující rozšířené popisné komentáře vycházejících z literatury [1].

Údery do stavby (S1) mohou způsobit destrukci nebo mechanické poškození budovy (D2), požáry (D2), úrazy způsobené krokovým a dotykovým napětím (D1) a poruchu nebo nesprávnou činnost vnitřních systémů (D3). Úraz živých bytostí elektrickým proudem (D1) může způsobit ztráty na lidských životech (L1) i ztráty ekonomické hodnoty (L4^a). Hmotnou škodou (D2) může dojít ke všem ztrátám L1 až L4, přičemž k úrazu živých bytostí způsobených hmotnou škodou může být například nemožnost evakuace v případě požáru. Poruchou elektrických a elektronických systémů (D3) může dojít ke ztrátám typu L1, L2 a L4.

Údery v blízkosti stavby mohou způsobit poruchu nebo nesprávnou činnost vnitřních systémů způsobenou elektromagnetickým impulzem (D3) – dále jen LEMP (z angl. Lighting ElectroMagnetic Pulse). Může dojít ke ztrátám L1^b, L2, L4.

Údery do inženýrských sítí připojených ke stavbě mohou způsobit požáry (D2), úrazy způsobené krokovým a dotykovým napětím (D1) a poruchy elektrických a elektronických systémů (D3). Úrazy způsobené krokovým a dotykovým napětím (D1) mohou způsobit ztráty typu L1 a L4^a, hmotnou škodou (D2) může dojít ke všem typům ztrát L1 až L4 a poruchou vnitřních systémů D3 může dojít ke ztrátě L1^b L2, L4.

Údery v blízkosti inženýrských sítí mohou způsobit typ poškození D3 a může dojít ke ztrátám L1^b L2, L4.

Tabulka 1-1 Poškození a ztráty. Čerpáno z [2]

| Úder blesku | Příčiny poškození | Typ poškození | Typ ztráty |
|--------------------|-------------------|---------------|--------------------------|
| Do stavby | S1 | D1 | L1, L4 ^a |
| | | D2 | L1, L2, L3, L4 |
| | | D3 | L1 ^b , L2, L4 |
| V blízkosti stavby | S2 | D3 | L1 ^b , L2, L4 |
| Do vedení | S3 | D1 | L1, L4 ^a |
| | | D2 | L1, L2, L3, L4 |
| | | D3 | L1 ^b , L2, L4 |
| V blízkosti vedení | S4 | D3 | L1 ^b , L2, L4 |

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

b Platí pouze tam, kde porucha vnitřních systémů jednoznačně ohrožuje lidské životy, například operační sály a jednotky intenzivní péče, nebo ve stavbách s nebezpečím výbuchu.

2. OCHRANA PŘED BLESKEM

Rozhodujícím faktorem, zda daný objekt vůbec potřebuje systém ochrany před bleskem (vnitřní + vnější ochranu), případně jaká konkrétní ochranná opatření použít, je výsledek spočtené analýzy rizika. Pakliže je vyžadována vnější ochrana před bleskem objektu (nazýváno též vnější LPS z angl. Lightning Protection System nebo hromosvod), je nutné počítat i tzv. dostatečnou vzdálenost. Projektant musí brát v potaz i ochranu vnitřních elektronických systémů před účinky přepětí a elektromagnetických impulzů (vnitřní ochrana před bleskem). Tyto termíny budou popsány v následujících podkapitolách.

2.1 Analýza rizika

Analýza rizika podle [1] obsahuje velikost rizika ztrát na lidských životech a trvalých zranění R_1 , velikost rizika ztrát na veřejných službách R_2 , rizika ztrát na kulturním dědictví R_3 a riziko ztrát ekonomických hodnot R_4 . Výsledek rizik R_1 až R_3 se porovnává s normálou R_T , která je nazývána přípustnou hladinou rizika. Jinými slovy se dá říct, že například pro veřejné služby je povolena maximálně jedna ztráta za 1000 (10^3) let. V případě, kdy je kterákoliv z hodnot R_1 až R_3 vyšší než přípustná hladina R_T , musí být přijata taková opatření, která vedou ke snížení pod tuto hodnotu. V Tabulka 2-1 [2] je hodnota přípustného rizika R_T podle ČSN EN 62305-2 [2] rovna:

Tabulka 2-1 Hodnoty přípustného rizika R_T [2]

| | R_T |
|------------------------------------|-----------|
| Pro ztráty na lidských životech L1 | 10^{-5} |
| Pro ztráty veřejných služeb L2 | 10^{-3} |
| Pro ztráty kulturního dědictví L3 | 10^{-4} |

Vyhodnocením ekonomických výhod instalace ochranných opatření za účelem snížení rizika R_4 se zabývá ČSN EN 62305-2 a její příloha D [2]. Pokud je součet ceny ochranných opatření a zbytkových ztrát menší než je celková cena ztrát bez použití ochranných opatření, je ochrana před bleskem efektivní. Stejná literatura [2] je rovněž i návodem, jak analýzu rizika spočítat. Postup výpočtu se dělí na následující části:

- Parametry chráněného objektu – umístění objektu, určení sběrné plochy, rozdělení stavby do více zón, obklopení stavby ostatními objekty, počet nebezpečných událostí pro stavbu a parametry inženýrských sítí určuje příloha A.
- Pravděpodobnosti úderů do stavby a možné typy ztrát popisuje příloha B.
- Průměrný rozsah ztrát lidského života, ztrát veřejných služeb, kulturního dědictví a ztrát ekonomických za rok popisuje příloha C.
- Ocenění nákladů a efektivnost ochrany posuzuje příloha D.

Platí, že výpočet by měl začínat s aktuálními parametry stavby a až na základě provedeného výpočtu by se měla uvažovat (přidávat) taková opatření, která vedou ke snížení takového rizika, které je větší, než je přípustná hladina R_T . Pokud jsou Rizika R_1 až R_3 nižší než přípustná hladina R_T a ztráty ekonomických hodnot nejsou natolik vysoké, aby se vyplatilo budovat opatření snižující riziko ztráty L_4 , není potřeba žádné ochranné opatření.

Každé riziko je však dáno součtem součástí rizika [2]

- Součásti rizika pro stavbu následkem úderů do stavby
- Součást rizika pro stavbu následkem úderů v blízkosti stavby
- Součásti rizik pro stavbu následkem úderů do vedení připojeného ke stavbě
- Součásti rizika pro stavbu následkem úderů v blízkosti vedení připojeného ke stavbě

Pokud analýza rizika vyjde s takovým výsledkem, že některé z rizik je větší než R_T , musí projektant zajistit jedno nebo více opatření, vedoucí ke snížení dominantní složky (složek) rizika R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W . Znamená to, že pokud například velikost rizika ztát na lidských životech a trvalých zranění R_1 překročí povolenou mez, přičemž největší podíl tvoří řekněme součást reprezentující hmotnou škodu způsobenou požárem, či výbuchem mezi venkovní instalací a kovovými částmi R_V , bude v první řadě na místě zařadit objekt do patřičné hladiny LPL (to znamená instalaci svodičů přepětí), nebo zbudovat nějaké protipožární opatření, kterým může být například umístění hasicího přístroje. Následně se projeví jako převládající součást R_B , reprezentující hmotnou škodu způsobenou jiskřením uvnitř stavby. Zde je na místě zařadit objekt do tříd LPS. Tato posloupnost je prováděna do doby, dokud neklesne velikost rizika pod riziko přípustné. Některé výpočtové programy dokonce graficky zobrazují nejkritičtější součásti rizika a přímo uživatele navádí k efektivnímu zvolení opatření, např. program DEHNSupport [6].

2.2 Skladba hromosvodu a výpočet dostatečné (přeskokové) vzdálenosti „s“

V momentě, kdy vyjdou všechna spočtená rizika pod povolenou mez, je objekt zařazen do vnějšího systému ochrany před bleskem LPS a vnitřního systému ochrany před bleskem LPL.

Třída LPS charakterizuje parametry blesku, tzn. vrcholovou hodnotu bleskového proudu, poloměr valící se koule, velikost ok mřížové soustavy, ochranným úhlem, typickými vzdálenostmi mezi svody, do jisté míry ovlivňuje dostatečnou vzdálenost a délku zemničů. LPS je určen k jímání blesků a bezpečného svedení bleskového proudu do země. Skládá se z jímačů, svodů a uzemňovací soustavy. Dělí se na oddálený (izolovaný) a neizolovaný LPS. [3]

2.2.1 Jímače

Jímací soustava může být podle [3] tvořena pomocí jímacích tyčí, zavěšených lan nebo mřížových vodičů. Pro rozdělení bleskového proudu do více paralelních cest je vhodné, když jsou jímače mezi sebou vodivě spojeny. Norma ČSN EN 62 305-3 ed2 [3] to ale vysloveně nepřikazuje. Jímače se umísťují v rozích nebo na hranách stavby a u vyvýšených objektů, jako jsou komíny, výdechy ze vzduchotechniky atd. Pokud je chráněná stavba vyšší jak 60 m, musí být jímací soustava umístěna tak, aby chránila objekt i před úderem blesku do boku stavby. Jímací soustava s neizolovaným LPS musí být instalována způsobem, který znemožní přímý kontakt s lehce hořlavými částmi. Za splnění určitých podmínek mohou být jako jímače použity i konstrukční součásti stavby, tzv. „náhodné jímače“. Rozmístění jímačů musí být zvoleno tak, aby byl celý objekt chráněn pomocí jedné z následujících metod nebo jejich kombinací. [3]

- Metoda valící se koule: Vhodná pro všechny typy budov i pro ochranu exponovaných míst. Díky kruhové úseči simuluje ochranný prostor lépe než metoda ochranného úhlu. Její poloměr je určen třídou LPS
- Metoda ochranného úhlu: Vhodná spíše pro ochranu exponovaných objektů na střeše, typicky anténní stožár, fotovoltaický panel, výdech vzduchotechniky. Velikost ochranného úhlu určuje jednak třída LPS a rovněž i výška jímače vztažená k referenční hladině plochy, která má být chráněna. Tato metoda je limitována maximální výškou. Při jejím překročení musí být použita metoda valící se koule.
- Metoda mřížové soustavy: Používá se pro ochranu plochých, velkoplošných střeš. Velikost ok mřížové ochrany určuje třída LPS.

2.2.2 Svody

Tato podkapitola bude přejímána z [3]. Soustava svodů přenáší proud blesku do země. Při rozmístění svodů je třeba brát ohled na podobnou vzdálenost mezi paralelními svody kvůli rovnoměrnému rozmístění bleskového proudu a snažit se svod vést tak, aby jeho délka byla co možná nejkratší, vedl přímo svisle dolů a netvořil smyčky. V případě použití izolovaného svodu musí mít každý jímací stožár svůj svod. Při aplikaci oddáleného jímače tvořené soustavou zavěšených drátů musí mít každá nosná konstrukce minimálně jeden svůj svod. Při použití neizolovaného LPS musí být instalovány vždy minimálně dva svody.

Svody se umísťují dle praktických a architektonických požadavků s ohledem na stejnost rozestupů mezi svody a jejich délku, většinou ve vnějších rozích stavby. Pro různá LPS jsou sepsány typické doporučené vzdálenosti. Příčná spojení svodů se z technického pohledu považují za dobrá řešení. Příčné propojení může tvořit například plechové okapové koryto v případě spojování součástí nýtováním. Svody se vedou po objektu mimo okapové roury, dokonce i při použití izolačních hmot z důvodu negativních účinků vlhkosti na materiál. Mohou se vést po stěně přichycené k okapovým rourám nebo

uchycených v podpěrách zašroubovaných do zdi objektu. Pripouští se i uložení ve stěně, jeli z nehořlavého materiálu. Je-li stěna z lehce hořlavého materiálu, smí se svody umístit pouze na stěně, pokud není pro materiál zvýšení teploty vedení nebezpečné. V opačném případě musí být buď mezi svodem a materiálem stěny dodržena vzdálenost 0,1 m, nebo musí být zajištěn průřez svodu minimálně 100 mm². Funkci svodu mohou splňovat i náhodné součásti, jsou-li spojení vodivá a trvanlivá, respektive jejich rozměry splňují rozměry uvedené v tabulce 6 ČSN EN 62605-3 ed. 2 [3]. Může jimi být ocelová výztuž železobetonového skeletu stavby nebo oplechování fasády s tloušťkou minimálně 0,5 mm. Jako náhodný svod nemůže být použito potrubí s hořlavým nebo výbušným médiem. Spoje musí být provedeny spolehlivě, aby měly malý přechodový odpor a odolávaly mechanickým silám. Počet spojů musí být minimální. Soustavu svodů zakončuje zkušební svorka. Umístěna by měla být na každém uměle vytvořeném svodu ideálně přibližně v úrovni očí a rozpojitelná pouze při použití nástroje. Slouží k rozpojení dráhy mezi uzemněním a střechou při měření zemního odporu. Instalaci skrytých svodů nicméně literatura [7] nedoporučuje.

2.2.3 Zemniče

Uzemňovací soustava svou funkcí slouží jako jakási nádoba, do které se přenášený náboj „vylije“. Hodnota zemního odporu by měla být menší jak 10 Ω. V praxi se zhotovuje buďto drátem FeZn kruhového průřezu o průměru 10 mm nebo páskem 30 × 4 mm (nad rámec literatury [3]). Pro snížení zemního odporu se zemnič může doplnit soustavou svislých zemních tyčí. Pro efektivní využití instalačního materiálu má být vzdálenost mezi nimi větší, než je jejich délka. Používají se dvě uspořádání zemničů. Uspořádání typu A znamená vedení uzemnění vně chráněné stavby, kde má každý pás svůj svod a zemniče mezi sebou nejsou spojeny = netvoří uzavřenou smyčku. Pro snížení pravděpodobnosti zkorodování zemniče do stavu, kdy neplní svou funkci, nesmí být při tomto uspořádání celkový počet zemničů méně jak dva. Délka zemniče pro LPS III a LPS IV nemusí být delší jak 5 m. Pro LPS I a II délka zemniče uspořádání A roste s větší rezistivitou půdy, ale nemusí být dodržena, je-li odpor uzemňovací soustavy menší jak 10 Ω. Zemnič by měl být uložen v hloubce minimálně 0,5 m, ideálně dostatečně hluboko na to, aby byl minimalizován vliv koroze, vysušování či zamrzání půdy a vzdálen asi 1 m od vnějších zdí budovy.

Uspořádání typu B zahrnuje jeden společný zemnič pro všechny svody tvořící minimálně jednu uzavřenou smyčku umístěn vně objektu, popřípadě je zhotoven jako základový zemnič. Poloměr uzavřené smyčky musí být větší než délka vodorovného zemniče uspořádání typu A. Poloměr těchto smyček ale literatura [8] nebere v potaz a hovoří o obdélnících s rozměry do 20 m. Hloubka uložení i vzdálenost od budovy respektují stejné rozměry, jako uspořádání typu A. Jako náhodný zemnič lze použít spolehlivě zhotovené spojení ocelových prutů armování v základovém betonu. Pokud je v základovém betonu soustava uzemnění současně aplikována s výztuží, mají být oba tyto

vodiče spojeny. Doplněním tohoto zdroje o ukládání zemničů do betonových základů a do půdy bude ČSN 33 2000-5-54 [8]. Ukládání zemničů do betonu se považuje jako vhodné řešení, které má spoustu výhod. Příkladem je dobrá vodivost díky velké styčné ploše s okolní zeminou, velké odolnosti vůči korozi (pokud jsou materiály v betonu alespoň 5 cm), nejsou potřeba dodatečné výkopové práce a terénní úpravy a může po čas stavby sloužit k uzemnění staveništního rozvaděče. Na přechodu mezi betonem a zeminou dochází ke korozi, proto je nutné vyvedení z betonu až nad úroveň terénu vyjma zemniče z nerezové oceli. Nátěr pozinkované, nebo nechráněné oceli není účinný, tudíž dostatečný. Aby byl zemnič obklopen alespoň zmíněnými 5 cm, mají být učiněna vhodná opatření, tzn. při použití zemničí pásky má být uložena na kratší straně pro vyloučení vzniku dutin pod jejím tělesem. Pro zaplnění vzniklých dutin je vhodná řidší konzistence betonu. Všechny podzemní spoje se opatřují protikorozivní ochranou, která nesmí ovlivňovat vodivost spojení, například asfaltovou zálivkou, antikorozi páskou nebo licí pryskyřicí. Touto ochranou je rovněž nutno opatřit i přechod vedení při přechodu ze země na vzduch, z betonu do země a z betonu na povrch a utěsnit trubku zajišťující mechanickou ochranu spodní části svodu, je-li použita. Délku ochranného nátěru stanovuje tato literatura v příloze označené „NA“.

2.2.4 Dostatečná vzdálenost

Mezi jímačem i svodem a jakoukoli jinou vodivou částí v podobě vnitřní instalace či nosných částí sádkartonových podhledů musí být dodržena tzv. dostatečná vzdálenost „s“. Obecná zjednodušená rovnice má tvar

$$s = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_c \cdot l , \quad (2.1)$$

kde k_i je koeficient závislý na třídě LPS (-), k_m zohledňuje izolační materiál, ve kterém by mělo dojít k přeskočení (-), k_c je koeficient závislý na rozložení bleskového proudu jímači a soustavou svodů (-), l je vzdálenost od měřicího bodu dostatečné vzdálenosti nejbližšímu bodu ekvipotenciálního pospojování (m). Při zjednodušeném výpočtu jsou hodnoty koeficientu k_c dány tabulkou. Přesnějším určením koeficientu se zabývá příloha C normy ČSN EN 62 305-3. [3]

Vyžaduje-li konkrétní řešení oddálení hromosvodu od některých částí, je třeba bleskosvod oddálit. Zejména na budovách s rizikem výbuchu se používá oddáleného hromosvodu, kde je celý systém mechanicky upevněn na pomocných konstrukcích a žádná část hromosvodu není v přímém kontaktu s chráněným objektem. Někdy se tomuto provedení říká podepřený hromosvod [9]. U ostatních objektů, kde není zapotřebí takovýchto opatření, ale v některých částech se lokálnímu oddálení nelze vyhnout, se používají izolační vzpěry. Jedná se speciálně navržený komponent pro toto využití. Přední výrobce veškerého materiálu pro zhotovení hromosvodní soustavy deklaruje koeficient sklolaminátu $k_m=0,7$ [10].

2.2.5 Izolované hromosvody

V dnešní době stále přibývá objektů, které disponují jednotkami klimatizace, rekuperace, tepelných čerpadel nebo anténních stožárů na střeše. Další problém může představovat kovová krytina, nosné konstrukce sádrokartonových desek, komínová vložka z nerezové oceli zaústěná do obytných prostor nebo jakékoli jiné vodivé části objektu, ať už konstrukční, či nikoli. Pokud použití izolačních vzpěr není efektivní a podepřený hromosvod nelze instalovat z finančních či estetických důvodů, nabízí se použití speciálních vysokonapěťových vodičů HVI (z angl. High Voltage Isolation). Přestože je toto řešení podle [9] známo přes 20 let, výskyt tohoto systému v České republice vzrostl až v nedávné době s přibývajícím technologií FVE a s požadavkem na větší využitelnost střech.

Vývoj spočíval v nalezení takového vodiče, jehož jádro dokáže svést bleskový proud a jeho izolace odolá vysokému napětí. Klasická vysokonapěťová izolace by ovšem neumožnila umístit vodič do blízkosti chráněného zařízení ani by nezabránila vzniku klouzavého výboje. V tom případě by mohl výboj překlenout nebezpečnou vzdálenost a ohrozit tak vše uvnitř budovy. [9]

Vodič DEHNconductor HVI má měděné jádro opatřené dvěma vrstvami izolace. První vrstva má elektrickou pevnost 250 kV. Druhá speciální vrstva brání vzniku tzv. klouzavých výbojů, které mohou vznikat na povrchu izolantů. Vznik výboje zapříčiní kapacitní vazby mezi kovovým jádrem vodiče a oroseným nebo vlhkým povrchem obalu. Vznik klouzavých výbojů je vyloučen díky rozdělení bleskového proudu do vnitřního měděného kvalitně izolovaného jádra vodiče a zlomek bleskového proudu protéká vnějším pláštěm. I takto malá hodnota zajistí vyrovnání potenciálu mezi jímačem a ekvipotenciálním pospojováním. Tento systém umožní řešit skrytý svod i dodržet dostatečnou vzdálenost. [11]

Současně lze tímto způsobem vyřešit i ochranu kamerového nebo jiného systému na venkovních zdech objektu. V případě neizolovaného svodu nebo systémem Faradayovy klece není ochrana těchto systémů zcela zabezpečena použitím přepěťových ochran. Tyto ochrany navíc mohou způsobit útlum signálu, takže je třeba zajistit další opatření. Je-li kolem kamery a vedení veden vodič HVI a kamera je opatřena svodičem přepětí, ochrana zajištěna je. Přestože se může vodič zdát jako „bezpečný“ z pohledu přeskočení bleskového proudu na jiné části, je při svádění bleskového proudu kolem jeho obvodu silné magnetické pole. Je tedy vhodné ostatní instalace vést co možná nejdále od těchto vodičů. [9]

Možnost použití těchto vodičů je limitována maximální délkou vodiče v závislosti na počtu svodů a třídě LPS. Dále musí být systém LPS navržen tak, aby dostatečná vzdálenost v místě napojení vodiče HVI na jímač (v tzv. oblasti koncovky) byla menší než stanovuje výrobce. Oblast koncovky je fiktivní válec kolem vodiče, jehož rozměry stanovuje výrobce vodiče. Současně musí být celé délka vodiče v ochranném prostoru jímače. [12]

2.3 Ochrana vnitřních systémů

Jak již bylo nastíněno v úvodu této kapitoly, veškeré elektrické a elektronické systémy mohou být poškozeny nebo případně zničeny elektromagnetickým impulzem vyvolaným blízkým úderem blesku, nebo mohou být porouchány vysokonapěťovými vlnami přenesenými po metalickém vedení. [4]

2.3.1 Umístění systému

Ohrožení zařízení přímo ovlivňuje umístění těchto přístrojů vzhledem k místě možného úderu blesku. Toto umístění definují takzvané zóny ochrany před bleskem LPZ (z angl. Lightning Protection Zone), přičemž jejich dělení je uvedeno v [1].

- LPZ 0_A je takové umístění systému v zóně, kde hrozí přímý úder blesku a kde mohou být vystaveny i plnému bleskovému proudu a elektromagnetickému poli. Příkladem může být venkovní prostor mimo ochranný prostor objektu.
- LPZ 0_B je umístění, kde je systém chráněn před přímým úderem blesku, ale může být vystaven dílčími bleskovými proudy a plným elektromagnetickým polem blesku. Systém je v ochranném úhlu objektu, ale není více chráněn.
- LPZ 1 je zóna s prostorovým stíněním a omezením impulzního proudu izolačním rozhraním nebo přepětíovou ochranou SPD (Surge Protection Device). Například uvnitř chráněného objektu.
- LPZ 2,...,n jsou zóny s dalším izolačním rozhraním, dalšími SPD a impulzní proud je dále omezen. Například zóna uvnitř objektu, která je opatřena dalším izolačním rozhraním nebo SPD.

Izolační rozhraní znamená ochranu před elektromagnetickými poli použitím stínících štítů, stíněného vedení a jejich kombinací. Mělo by být vždy zajištěno pospojování všech metalických sítí na vstupu do budovy přímo nebo přes SPD na soustavu uzemnění. Ochranu přístrojů před přepětím zajišťují koordinované systémy SPD omezující vnitřní i vnější rázové vlny. SPD musí být nainstalováno, pokud je jmenovité impulzní výdržné napětí na svorkách zařízení nižší, než přepětí mezi živými vodiči a zemí. Dalšími ochrannými opatřeními jsou uzemnění s pospojováním a magnetické stínění trasy vedení. Soustava uzemnění a pospojování rozptyluje bleskový proud do země. Pro stavby s elektronickými systémy je doporučeno uložení zemniče typu B popsané výše. Soustava pospojování minimalizuje rozdíl potenciálů mezi dvěma body a pro ještě větší snížení rozdílu se může vést několik paralelních vodičů souběžně se silovými kabely pro zajištění nižší impedance. Soustava pospojování může být tvořena již během stavebních prací na objektu spojením kovových částí stavby mřížovou soustavou se šířkou ok nad 5 m. Velko-prostorná stínění tvořena armováním stavby, kovovými fasádami nebo kovovými rámy oken vytváří velká magnetická pole tvořena tekoucím bleskovým proudem stíněním. Takový případ sloučení soustavy svodů s magnetickým stíněním nevytváří bezpečný prostor uvnitř stavby a veškeré vnitřní systémy musí respektovat bezpečný odstup od stínění LPZ. V případě, kdy nelze tento odstup respektovat a je nutné tímto

místem vést kabelové trasy, musí být použity kabely se stíněním. Stínění kabelů je spojeno na přípojnicí s uzemněním na obou koncích. Na přípojnicích pospojování se připojují všechny inženýrské sítě vstupující do LPZ, ochranné vodiče, všechny kovové neživé součásti a magnetické stínění. Rovněž i zde platí stejná pravidla jako pro vnější ochranu před bleskem v podobě připojení systému pospojování co možná nejkratší trasou pro zajištění nízké impedance, materiály a průřezy vedení musí splňovat požadavky normy a při projektování kabelových tras by mělo být zabráněno prostorovým smyčkám. Současně musí být spoje provedeny dostatečně trvanlivě, aby vydržely účinky bleskových proudů a měly dobrou elektrickou vodivost. Pokud praxe nedovolí vyloučení induktivních smyček, je vhodné použití stíněných kabelů nebo stíněných kabelových žlabů. [4]

2.3.2 Eliminace přepětí

Napětí vyšší než je napětí jmenovité, lze z hlediska doby působící na jakékoli elektrické komponenty, rozdělit na přechodná přepětí a přepětí dočasná. Trvání přechodných přepětí zpravidla nepřesahuje několik málo milisekund a lze účinně eliminovat pomocí SPD. Naproti tomu se přepětí dočasná vyznačují poměrně dlouhým trváním a pomocí SPD je nelze eliminovat. Přepětí může být v síti vyvoláno například spínáním některých zátěží v síti, tzv. příčné přepětí mezi pracovními vodiči, nebo může být vyvoláno atmosférickými účinky, tzv. podélné přepětí mezi pracovními vodiči a zemí. [13]

Zpracováno bude pouze přepětí podélné, které lze eliminovat zapojovacím módem x+0 (CT1). Znamená to připojení všech pracovních vodičů (tj. pro síť TN-S L1, L2, L3 a N) proti vodiči PE. Přepětíová ochrana typu 1, nebo ochrana typu 1 a 2, se pro správnou činnost umísťuje co nejbližší k přivedení vedení do objektu, ideálně do hlavní rozvodné skříně ihned za hlavní jistič. Přepětíová ochrana typu 2 nachází své uplatnění zejména v podružných rozvodnicích, například na předělu zón LPZ. SPD typu 3 slouží k nejjemnějšímu vyfiltrování vyšších složek napětí (je nejcitlivější), a proto se montuje v těsné blízkosti chráněného zařízení. V provozech, kde priorita ochrany převládá nad prioritou napájení, se SPD „předjíždí“ pojistkou se jmenovitou hodnotou udávanou výrobcem, pouze pokud je hodnota nadřazené nadproudové ochrany vyšší než hodnota „předjíždění“ SPD. Umístění přepětíové ochrany v rozvaděči musí být provedeno tak, aby součet ochranné napětíové hladiny SPD a úbytků napětí v připojovacích vodičích byl přibližně o 20 % menší, než je výdržné napětí chráněných spotřebičů. Úbytek napětí na připojovacích vodičích je dán hlavně díky parazitní indukčnosti. Díky vysokým hodnotám proudu a jeho velké strmosti může být na 1 m vodiče až 1 kV. Proto součet všech připojovacích vodičů nesmí přesáhnou délku 0,5 m. Dalším pravidlem je minimalizace instalačních smyček, vedení chráněných a nechráněných vodičů v dostatečné vzdálenosti nebo dodržení vhodné vzdálenosti mezi SPD. [13]

3. FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA

Hlavním tématem této práce je analýza možných řešení vnější ochrany před bleskem, která současně zamezí škodám na fotovoltaické elektrárně (FVE). Následující podkapitoly tedy budou popisovat zejména souvislosti mezi těmito oblastmi, a tudíž nebude zpracován podrobný výpis obsahující kompletní problematiku a předpisy na instalaci FVE s výjimkou rozmístění panelů na střešní konstrukci.

3.1 Ochrana proti přepětí spínacímu nebo atmosférického původu

Pro ochranu objektů a jejich elektrických instalací se používá řada norem IEC 62 305 popsaných výše.

Použití ochrany proti přechodnému přepětí posuzuje norma ČSN 33 2000-4-443 ed. 3 [14] v kapitole „Metody posuzování rizika“. Pokud je ochrana vyžadována, je zapotřebí i na stejnosměrné části instalace. Pokud vyžadována není, posuzuje se riziko podle kapitoly „Analýza rizik“ v normě ČSN 33 2000-7-712 ed. 2 [15]. Požadavky na použití SPD určuje porovnání délky trasy nestíněného vedení mezi fotovoltaickým řetězcem (stringem) a měničem a kritickou délkou vedení vypočítané pomocí hustoty úderů blesků do země za rok. Plocha smyček vodičů má být tak malá, jak jen je to proveditelné, aby se minimalizovala indukce napětí při bleskové činnosti. Ideálně se nabízí vedení společnou trasou. Pakliže je fotovoltaický systém chráněn ochranným prostorem LPS, pak musí být všechny jeho části včetně silových i řídicích vodičů umístěny tak, aby byla zajištěna dostatečná (přeskoková) vzdálenost. Výpočet dostatečné vzdálenosti je uveden v kapitole 2.2 této práce. Není-li možné z technického důvodu takovou vzdálenost dodržet, musí být všechny části spojeny s vyrovnáním potenciálu přes SPD. Stínění tras je doporučeno. [15]

Použití SPD není nutné, pokud je součástí měniče a výrobce zařízení specifikuje jeho použití na DC straně. V opačném případě je stejnosměrná část opatřena externí přepět'ovou ochranou, přičemž se varistory jako přepět'ová ochrana neuznávají. Napět'ová hladina SPD je volena podle výdržné hladiny napětí měniče stanovenou výrobcem. SPD musí obecně splňovat zkoušky třídy II, to znamená jmenovitý vybíjecí proud musí být větší než 5 kA. Výrobce ochrany před přepětím je oprávněn vyžadovat doplnění SPD vnějším odpojovačem, pokud může být při poruše přepět'ová ochrana ve zkratu. Jeli vyžadováno použití SPD a vzdálenost mezi měničem a fotovoltaickým řetězcem je větší jak 10 m, je SPD namontováno v blízkosti měniče, jak jen je to možné, i na začátku řetězce. Připojení k přípojnicí ochranného pospojování je prováděno měděným vodičem o průřezu 6 mm² pro SPD třídy II nebo 16 mm² pro SPD třídy I. [15]

3.2 Požadavky na elektrické kabely z pohledu FVE

Kabely na stejnosměrné straně musí být instalovány tak, aby se zabránilo zemním spojením a zkratu použitím vodiče s nekovovým pláštěm, nebo vodičem instalovaným v samostatném nevodivém kanálu. Současně nesmí být v přímém kontaktu se střešní krytinou. Kabely umístěné na střeše, přesněji řečeno ve spodní části panelu musí být konstrukčně vhodné z pohledu teplot přesahujících 70 °C. Tento fakt musí být brán v potaz i při návrhu průřezu vodiče z pohledu proudového zatížení. [15]

Jmenovité napětí DC kabelů je 1,5 kV mezi vodiči i mezi vodičem a zemí [16]. Dle [17] musí být vnější části kabelů odolné pro ultrafialovému záření.

3.3 Ochranné vodiče a vodiče ochranného pospojení

Kovové konstrukce fotovoltaických panelů by měly být pospojovány měděnými vodiči ochranného pospojení s průřezem minimálně 4 mm² nebo jeho ekvivalentem k zemi sorce takovým způsobem, aby mohlo dojít k řádnému vyrovnání potenciálu všech kovových částí. [15]

Uzemňovací přívod musí být větší 6 mm² pro měděný vodič, nebo 50 mm² pro ocel. Hliníkový vodič nesmí být použit. Průřez každého ochranného vodiče musí být naddimenzován tak, aby v případě poruchy došlo k automatickému odpojení od zdroje a musí vydržet mechanické i tepelné namáhání poruchového proudu. Současně nesmí být průřez menší jak 2,5 mm² pro Cu, 16 mm² pro Al pokud je chráněn před mechanickým poškozením, nebo 4 mm² pro Cu a 16 mm² pro Al pakliže před mechanickým poškozením chráněn není. Jako vodiče ochranného pospojování se nesmějí používat konstrukční části vystavené mechanickému namáhání, pohyblivé části, kabelové lávky, podpěry či žebříky. Pro zachování spojitosti ochranného pospojení musí být spoje chráněné před vnějším poškozením a přístupné pro jejich kontrolu, je-li to možné. Spoje šroubové nesmí sloužit jinému účelu než uvedení na společný potenciál. Pájené spoje nejsou přípustné. [8]

Naproti ochranným vodičům stojí vodiče ochranného pospojení. Zatímco ochranný vodič je určený jako ochrana před úrazem elektrickým proudem způsobeným dotykem neživých částí, vodič ochranného pospojení spojuje s uzemňovací soustavou všechny kovové části nepatřící do elektrické instalace, které by mohly do budovy přivést nebezpečný rozdíl potenciálů [18]. Minimální průřezy vodičů ochranného uzemnění jsou pro hliníková i ocelová jádra stejné jako průřezy ochranných vodičů, pouze pro měděné je průřez zvýšen na 6 mm² a průřez vodičů ochranného pospojování nesmí být menší než je polovina průřezu vodičů ochranného uzemnění. [8]

Matoucím může být kolize minimálního průřezu měděného vodiče pro vyrovnání potenciálů kovových částí fotovoltaického panelu. Zatímco literatura [8] zabývající se ochrannými vodiči předepisuje 6 mm², norma zabývající se fotovoltaickými systémy [15] hovoří o průřezu 4 mm².

3.4 Orientace a rozložení panelů

Pro dosažení největší efektivity fotovoltaické elektrárny je nezbytným úkonem provést vhodný návrh umístění panelů, jejich orientace, vzájemné rozestupy a jejich sklon. [19]

V práci bude návrh rozmístění panelů pouze ilustrační, s ohledem na maximální instalovaný výkon. Optimalizace počtu kusů pro realizovatelnost více variant hromosvodů bude podrobně zpracována v rámci jednotlivých variant na základě dodržení dostatečné vzdálenosti.

Pakliže je reálně možné umístit fotovoltaické panely přímo na jih, je obecně známo, že je jejich využitelnost největší. Nicméně drobným odklonem panelu od jihu směrem k východu nebo západu jejich účinnost klesá jen velice málo, narozdíl od umístění panelů jenom na východ, nebo jenom na západ. Dalším aspektem je sklon pevně instalovaných panelů, který se v závislosti na zeměpisných šířkách mění. Zmenšením sklonu panelu sice vzroste jeho účinnost v zimních měsících, kdy je úhel dopadajících paprsků v průměru 17° , ale může se zde usazovat sníh nebo spadené listí. Zvýšením sklonu panelu docílíme jeho samovolnému čištění, ale je třeba dodržovat větší rozestupy pro eliminaci zastínění. Jako ideální se pro Českou republiku jeví sklon okolo 33 %. Tato hodnota je optimální, pro nejefektivnější využití energie po celý rok, kdy se výška horizontu Slunce s ročním obdobím mění. Opět i zde ale platí, že odchylka sklonu o několik stupňů „nehraje“ extrémně významnou roli na účinnosti. [20]

Aby bylo dosaženo jevu samočištění usazeného prachu, sněhu a listí, je třeba zajistit sklon panelu větší jak 12° . Tato hodnota se pro čištění deštěm a gravitací uvažuje jako dostatečná. K dalšímu zastínění panelů dochází při interakci předmětů umístěných v jejich blízkosti. Mohou to být například komíny, jímací tyče, televizní antény, sousední budovy nebo stromy, vzdušné vedení, komponenty od klimatizačního zařízení, světlíky, obvodové atiky v případě rovinných střech, nebo vyčnívající části střechy v případě šikmých střech. Obecně platí, že čím blíže je objekt způsobující stín, tím je jeho negativní působení větší. Problém je významný tím, že součástí jednoho panelu (modulu) je několik sériově zapojených článků. I kdyby byl zastíněn pouze jediný článek modulu, projeví se absence jeho generovaného napětí na výrobě celého panelu. Při několika zapojených modulů do série je pak proud v celém stringu roven proudu nejméně osvětleného modulu. Neosvětlený článek se navíc nadměrně zahřívá a mohl by materiál roztavit. Proti tomuto se používá obtokových diod, které tyto neaktivní články přemostí. Pro fotovoltaické výrobní větších výkonů se zapojuje několik modulů do jednoho řetězce s vysokým výstupním napětím. Výhodou jsou menší ztráty, menší průřezy vodičů, menší riziko výpadku a větší účinnost. Malou nevýhodou může být nutnost provedení ochranných opatření pro třídu ochrany II. [19]

4. POŽÁRNÍ BEZPEČNOST

Tato kapitola bude zaměřena na zamezení šíření požáru do budovy skrze prostupy střešní konstrukcí. Mohou jimi být například střešní východy, otvory pro vyvedení vodiče ochranného pospojování nebo kabelů komunikačních technologií, prostupy klimatizačních potrubí a v případě instalace fotovoltaických panelů také prostupy kabelů spojující fotovoltaické panely se střídačem.

Počet prostupů přes požárně dělicí konstrukce má být snížen na nejmenší možný počet. Těsnění prostupů se provádí buď realizací požární přepážky/ucpávky v souladu s ČSN EN 13501-2, nebo dozděním/dobetonováním v celé tloušťce konstrukce. Dotěsnění lze provést pouze pokud není vstup okolo únikových cest, vstup je tvořen potrubím s nehořlavou náplní a současně splňuje předepsané třídy reakce na oheň nebo maximální průřez vedení, nebo jestliže jde o samostatně vedený kabel bez chráničky s vnějším průměrem spadajícího do předepsaného rozpětí. [21]

Při snaze zamezení zatékání vody do objektu po kabelech použitím plastové trubky s ochranou před zatékáním, může být použitý materiál PVC, který je podle [22] odolný proti vznícení, poskytuje menší příspěvek tepla než jeho protějšky a nestává se kapalným. Stejný zdroj stanovuje typy materiálů těsnící prostupy. Může se jednat o vlnovce, zátky, pěny, polštáře, tmely a jiné.

Pro krytinu schopnou šířit požár platí, že potrubí vzduchotechniky, které bude umístěno na střešní konstrukci, musí být od střešního pláště vzdálené na výšku potrubí. Nikdy ale nesmí být vzdálenost mezi střešním pláštěm a potrubím menší jak 0,5 m. Jeho materiál musí být z nesnadno hořlavých hmot. Vstup skrze požární konstrukci musí být zabezpečen požárními klapkami v případech, kdy průřez potrubí je větší 40 000 mm², nebo je celková plocha potrubí větší jak setina povrchu střechy, nebo pokud není vyloučeno šíření plamenů, tepla a zplodin potrubím. Materiál vstupu musí být v každém případě z nesnadno hořlavých hmot, a to až do vzdálenosti rovné 0,5 m nebo druhé odmocnině plochy potrubí, podle toho, která z hodnot je vyšší. Místo vstupu musí být utěsněno hmotou o stejném stupni hořlavosti jako dělicí konstrukce, nejvýše však C a nepovažuje se odolnost vyšší než 60 minut. [23]

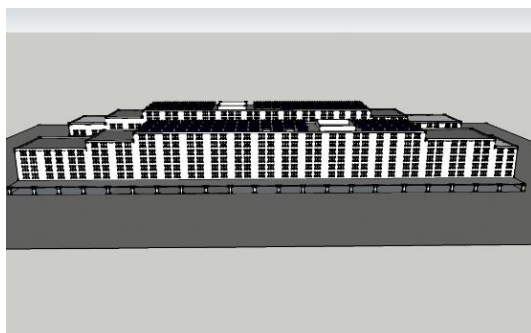
Dle vyhlášky č 114-2023 a jejího § 2 [17] má být konstrukce fotovoltaického panelu z materiálu třídy reakce na oheň A1 nebo A2 Tato vyhláška je ovšem vyhrazena pro výroby s instalovaným výkonem do 50 kW.

Za nehořlavé se považují výrobky třídy na oheň A1 jako je keramika, sklo, beton, nebo kov a třídy reakce na oheň A2 v podobě sádkokartonu. Ostatní třídy reakce na oheň jsou hořlavé. Do třídy B spadá např. vinylová podlaha nebo cementotřísková deska, do třídy C izolace z fenolické pěny, do třídy D dřevo a dřevěné desky, do třídy E patří například polystyren a výrobky, které nebyly zařazeny spadají do třídy F. [24]

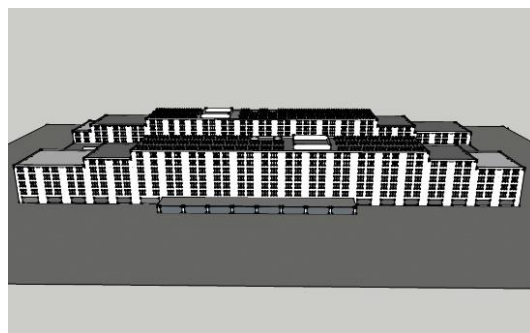
5. POPIS OBJEKTU

Zadaný fiktivní objekt, který je předmětem technických návrhů vnější ochrany před bleskem, zahrnuje 2 podzemní patra a 6 nadzemních pater, přičemž celý objekt je zobrazen na Obrázek 5.1. Podzemní patra jsou určena zejména pro garážová stání. V prvním a druhém nadzemním podlaží jsou umístěné obchodní prostory, ve 3. a 4. patře jsou kancelářské prostory určené k pronájmu. Páté a šesté patro je určeno pro privátní bydlení. Rozměry objektu jsou 192×81 m, přičemž po celé jižní straně je 3 m vysoký a 9 m široký přístřešek, pod kterým se mimo jiné nachází i vjezd do podzemních podlaží. Naproti tomu, na severní části objektu není přístřešek zbudován po celé délce, nýbrž zaujímá přibližně třetinu délky objektu v jeho prostřední části. Konstrukční díly v podobě nosných pilířů, stěn i stropů jsou z armovaného betonu.

Vhodnější popis tvaru objektu poskytne Obrázek 5.1.



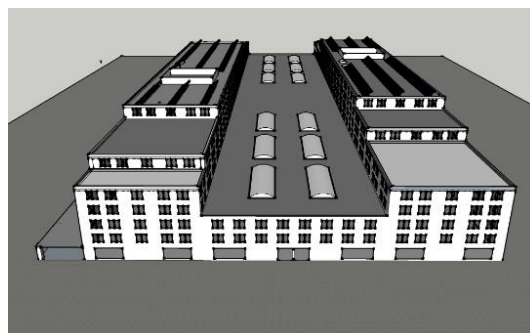
a)



b)



c)



d)

Obrázek 5.1 Vizualizace objektu: a) pohled na jižní část, b) pohled na severní část, c) pohled na východní část, d) pohled na západní část

Pro celý objekt platí, že jednotlivé úrovně střech jsou ploché se sklonem do 10° . Střešní krytina je realizována pomocí asfaltových pásů. Po obvodě střechy je zděná atika s výškou 500 mm a šířkou 400 mm s výjimkou přístřešků na podélných stranách objektu. Na nejvyšších částech střech je u jižního i severního křídla umístěna technologie

vzduchotechniky ohraničená protihlukovými stěnami. Na stejných částech střech jsou i z požadavků zadavatele objektu umístěny fotovoltaické panely. Objekt se nachází v blízkosti města Brna.

6. VÝPOČET ANALÝZY RIZIK

V následujících podkapitolách jsou popsány volená opatření a koeficienty pro výpočet analýzy rizika vycházející z [2]. Následně bude provedena úprava a budou volena taková opatření, která povedou k výsledku rizika pod povolenou hranici.

6.1.1 Parametry chráněného objektu

Podle izokeraunické mapy leží Brno na předělu oblastí s počtem 20–25 a 25–30 bouřkových dní za rok, záleželo by na konkrétním umístění. To ale vzhledem k fiktivnímu objektu známo není, proto bude analýza počítána s hodnotou 25 dní bouřkových dní za jeden rok. Hustota úderů blesků do země N_G je dána 10 % počtu bouřkových dní T_D , tedy 2,5. Sběrná oblast A_D stavby byla pro složitost výpočtu počítána pomocí [6] a její velikost je 53280 m². Sběrná oblast A_M se zásahy blesků v blízkosti objektu činí 1087776 m². Objekt není obklopen žádnými jinými objekty v sousedství, tudíž koeficient $C_D = 1$. Délka sekce vedení je neznámá, v tomto případě se uvažuje, že A_L je rovno 1000 m a sběrná oblast A_I obklopující vedení je rovna $4000 \cdot A_L$. Vedení je do objektu vedeno vysokonapěťovým kabelem, který je uložen v ochranné trubce 1 m v zemi. Činitel instalace C_I byl proto volen 0,5, činitel typu vedení $C_T = 0,2$; $C_{LD} = 1$; $C_{LI} = 1$ a prostředí je městské, tedy $C_E = 0,1$.

6.1.2 Pravděpodobnost úderů do stavby a typy ztrát

Jak bylo zmíněno v kapitole 2.1, nejdříve se při výpočtu počítá s opatřeními, které již na chráněné stavbě zahrnuté jsou s teprve po výpočtu si opatření přidávají, pokud je potřeba. Objekt bude členěn na zóny LPZ 0_B, LPZ 1 a LPZ 2, přičemž opatření budou pro všechny zóny stejné, nebude-li uvedeno jinak. U objektu tedy není v tuto chvíli uvažováno žádné opatření, které by zabránilo úraz v důsledku dotykových nebo krokových napětí ($P_{TA} = 1$), objekt není chráněn pomocí LPS ($P_B = 1$), ani zde není žádná koordinovaná ochrana ($P_{SPD} = 1$). Konstrukce je železobetonová, lze tedy v jedné ze zpracovaných variant využít armování betonu jako stínění stavby na hranici LPZ 0/1 a LPZ 0/2 (ostatní varianty nebudou při výpočtu stínění stavby zahrnovat). V tuto chvíli je uvažována velikost ok mřížového stínění 10 m. Trasy elektrického vedení budou projektovány pro vyloučení velkých smyček v celém objektu. Výdržná napětí spotřebičů budou pro LPZ 0_B do 2,5 kV, pro LPZ 1 1,5 kV a LPZ 2 také 1,5 kV. Nejsou zbudovány žádné zábrany či nápisy pro ochranu před dotykovým a krokovým napětím a není provedeno ekvipotenciální pospojování LPL.

6.1.3 Odhad rozsahu ztráty

LPZ 0_B – venkovní prostor objektu

Ztráta lidského života L1

Úraz živých bytostí elektrickým proudem D1: Pro tuto zónu je uvažován betonový povrch, na kterém se může nacházet přibližně 100 osob okolo tří set hodin ročně. Celkový počet osob v objektu a okolí je odhadnut na 2100.

Hmotná škoda D2: Není zde žádné opatření ke zmenšení následků požáru, dle požárně bezpečnostního řešení je zde pouze nízké riziko požáru, a ani se zde neuvažuje žádné zvláštní riziko paniky. Z pohledu počtu obětí způsobených hmotnou škodou byl venkovní prostor objektu zařazen do ostatního využití ($L_F = 0,01$)

Porucha vnitřních systémů D3: Tento koeficient byl považovaný jako nulový.

Ztráta veřejné služby L2

Hmotná škoda D2: V této zóně je uvažováno, že by na střešních konstrukcích mohlo být použito různých přijímačů pro telekomunikaci. Počet obsluhovaných uživatelů z této zóny je roven počtu všech osob v objektu a okolí. Procento neobslužených uživatelů v důsledku hmotné škody $L_F = 0,01$.

Porucha vnitřních systémů D3: V důsledku poruchy vysílačů by bylo procento neobslužených uživatelů $L_O = 0,001$.

Ztráta kulturního dědictví L3

Hmotná škoda D2 v této zóně není brána v potaz.

Ekonomická ztráta L4

Úraz živých bytostí elektrickým proudem D1: V této zóně se nenachází žádná zvířata, proto se ekonomická ztráta úrazem živých bytostí neuvažuje.

Hmotná škoda D2: Procentní hodnota poškozeného majetku je volena 0,1. Částky následujících komponent byly počítány na základě tabulky C.Z1 a C.Z2 v [2]. Celková hodnota objektu byla pro běžné náklady (400 € na m³ s kurzem 1 € = 25 Kč) vyčíslena na 3,39 mld. Kč. Bylo počítáno, že případný přijímač by nepřesáhl hodnotu 0,5 mil. Kč. Na střeše objektu se ale bude naházet vzduchotechnika a velký počet fotovoltaických panelů na stojanech. Na základě návrhu jejich rozmístění a počtu byla celková hodnota v této zóně odhadnuta na 3 mil. Kč. Hmotná škoda a porucha těchto panelů není požadována za ztrátu veřejných služeb, neboť se nepředpokládá, že by došlo k nemožnosti napájení objektu z obnovitelných zdrojů a z veřejné sítě najednou.

Porucha vnitřních systémů D3: Koeficient L_O byl volen 10^{-4} .

LPZ 1 – podzemní patra objektu

Ztráta lidského života L1

Úraz živých bytostí elektrickým proudem D1: Pro tuto zónu je uvažována keramická podlaha, s výskytem okolo 100 osob po dobu 200 hodin ročně. Velká část podlahové krytiny bude sice pokryta asfaltem, předpokládají se ale dlážděné chodby pro pohyb osob. Tato čísla jsou volena na základě předpokladu, že zákazníci, zaměstnanci a obyvatelé horních pater objektu zde pouze zaparkují a odeberou se do zóny LPZ 2. Celkový počet osob v objektu souhlasí s hodnotou udávanou dříve, tj. 2100. Činitelem dotykových a krokových napětí $L_T = 0,01$.

Hmotná škoda D2: Uvnitř objektu je ke zmenšení následků požáru použita automatická hasicí instalace chráněná proti přepětí a příjezd hasičů je do deseti minut od ohlášení elektronickým požárním systémem. Toto opatření respektuje požadavek hasičů. Požárně bezpečnostního řešení stanovilo vysoké riziko požáru. V těchto prostorách může dojít k vysoké úrovni paniky. Objekt byl zařazen jako kulturní centrum pro veřejnou zábavu ($L_F = 0,05$).

Porucha vnitřních systémů D3: Tento koeficient byl považovaný jako nulový, protože se používá pouze pro budovy nemocnic.

Ztráta veřejné služby L2

Hmotná škoda D2: V této zóně je uvažováno umístění technologií, které by mohly distribuovat elektrickou i tepelnou energii po celém objektu. Je tedy na místě uvažovat s tím, že by uživatelé těchto služeb mohli o svou dodávku přijít. Procento neobsložených uživatelů v důsledku hmotné škody $L_F = 0,1$. Uživatelé těchto služeb jsou zejména ti, kteří vykonávají v budově dlouhodobou činnost (vykonávají povolání v kanceláři, údržbáři a uklízečky nebo rezidenti v privátním bydlení) a jejich počet byl stanoven na 1000 osob.

Porucha vnitřních systémů D3: V důsledku poruchy vnitřních systému zajišťujících napájení a vytápění objektu by bylo procento neobsložených uživatelů $L_O = 0,001$.

Ztráta kulturního dědictví L3

Hmotná škoda D2 v této zóně není brána v potaz.

Ekonomická ztráta L4

Úraz živých bytostí elektrickým proudem D1: V této zóně se nenachází žádná zvířata.

Hmotná škoda D2: Jelikož je v zóně LPZ 1 zahrnuto pouze podzemní parkoviště, je koeficient L_F roven 0,1 (druh stavby – ostatní). Následující hodnoty jsou spočteny na základě stejných pramenů, jako hodnota objektu. Hodnota budovy v zóně je necelých 700 mil. Kč, obsah zóny činí více jak 93 mil. Kč a hodnota vnitřních systémů činí téměř

140 mil. Kč. Je třeba zdůraznit, že výsledky jsou dány tabulkou z průměrných hodnot, tudíž se některé složky výsledné sumy mohou lišit v závislosti na vybavení dané zóny.

Porucha vnitřních systémů D3: Koeficient L_O byl volen 10^{-4} (druh stavby – ostatní).

LPZ 2 – nadzemní patra objektu

Ztráta lidského života L1

Úraz živých bytostí elektrickým proudem D1: I pro tuto zónu je počítáno s keramickou podlahou, počet osob byl odhadnut na 2000 s dobou výskytu okolo 1900 hodin ročně. Činitelem dotykových a krokových napětí $L_T = 0,001$.

Hmotná škoda D2: I zde je rovněž jako v zóně LPZ 1 uvnitř objektu použita automatická hasicí instalace chráněná proti přepětí a příjezd hasičů je do deseti minut od ohlášení elektronickým požárním systémem. Požárně bezpečnostního řešení stanovilo vysoké riziko požáru stejně jako stanovilo v zóně LPZ 1. V těchto prostorách může dojít k vysoké úrovni paniky. Objekt byl zařazen jako kulturní centrum pro veřejnou zábavu ($L_F = 0,05$).

Porucha vnitřních systémů D3: Tento koeficient byl považovaný jako nulový, protože se používá pouze pro budovy nemocnic.

Ztráta veřejné služby L2

Hmotná škoda D2: Umístění elektronických systémů, které mohou automaticky ovládat správný chod budovy v technickém měřítku v podobě regulace teploty, intenzity osvětlení nebo jiné parametry, by pravděpodobně bylo v těchto prostorách umístěných lokálně u obsluhující části objektu. Z toho důvodu je procento neobsloužených uživatelů v důsledku hmotné škody $L_F = 0,1$. Uživatelů těchto služeb (lidé v kanceláři, údržbáři, uklízečky, prodavačky nebo ubytovaní lidé) by dlouhodobě mohlo být okolo 900 osob.

Porucha vnitřních systémů D3: V důsledku poruchy vnitřních systému zajišťujících napájení a vytápění objektu by bylo procento neobsloužených uživatelů $L_O = 0,01$.

Ztráta kulturního dědictví L3

Hmotná škoda D2: Zde je jediné místo, kde je uvažováno s touto ztrátou. Je to proto, že by součástí některého z obchodů mohla být galerie historického umění, proto $L_F = 0,3$ (muzeum, galerie). Hodnota starožitnictví nicméně vzhledem k předpokládanému minimálnímu množství hodnotných děl činí 5 mil. Kč.

Ekonomická ztráta L4

Úraz živých bytostí elektrickým proudem D1: Není brán v potaz.

Hmotná škoda D2: Koeficient L_F roven 0,2 (druh stavby – hotel, škola, kulturní a zábavní centrum). Následující hodnoty jsou spočteny na základě stejných pramenů, jako hodnota objektu. Hodnota budovy v zóně je více jak 800 mil. Kč, obsah zóny činí

necelých 246 mil. Kč a hodnota vnitřních systémů včetně jejich funkcí byla vypočtena na téměř 370 mil. Kč. Opět i zde platí, že výsledky jsou dány tabulkou z průměrných hodnot, tudíž některé složky nemusí být kalkulovány přesně.

Porucha vnitřních systémů D3: Koeficient L_0 byl volen 10^{-3} (druh stavby – muzeum, veřejná zábava).

Výpočet analýzy rizika byl prováděn programem DEHNsupport [6]. Pro takto nastavené parametry bez ochranných opatření vyšlo riziko $R_1 = 2,68 \cdot 10^{-4}$ ztrát/rok, $R_2 = 1,29 \cdot 10^{-3}$ ztrát/rok, $R_3 = 2,71 \cdot 10^{-4}$ ztrát/rok a $R_4 = 4,94 \cdot 10^{-4}$ ztrát hodnot/rok. Po učinění opatření, kterými jsou zařazení objektu do systému ochrany před bleskem LPS 1, pospojování proti blesku LPL 1 a instalace svodičů přepětí se rizika snížila na $R_1 = 5,35 \cdot 10^{-6}$ ztrát/rok, $R_2 = 3,45 \cdot 10^{-5}$ ztrát/rok, $R_3 = 5,39 \cdot 10^{-6}$ ztrát/rok a $R_4 = 4,94 \cdot 10^{-4}$ ztrát/rok. V práci jsou dále zpracovány různé varianty LPS, popsané v kapitole 7 této práce, při kterých je zapotřebí upravit koeficienty K_{S1} (vnější stínění stavby) a P_{TA} (zahrnující ochranná opatření před dotykovými a krokovými napětími). Přestože se tyto koeficienty v rámci zpracovaných variant liší řádově, na výsledné riziko R_1 mají jen minimální vliv a výpočet analýzy rizik neovlivňují, tj. není zapotřebí změn na úrovni LPS nebo LPL.

7. PROVEDENÍ VARIANTNÍCH NÁVRHŮ BLESKOSVODU

Cílem této kapitoly je bližší představení tří technicky různých řešení provedení vnější ochrany před bleskem. Podstatou toho je demonstrovat technické přístupy aplikovatelné v praxi a poukázat na společné nebo odlišné řešení, respektive i identifikovat výhody a nevýhody zpracovaných variant. Řešení vnitřní ochrany před bleskem není předmětem práce.

- Varianta A: Toto zpracování zobrazuje skladbu oddáleného bleskosvodu s využitím kovových svodů po fasádě objektu. Návrh technického řešení Varianty A je uveden v podkapitole 7.1.
- Varianta B: Tato varianta představuje technické řešení využívající neizolovaný LPS s propojením na ocelové armování železobetonu. Rozdíl oproti Variantě A spočívá v jednodušším návrhu bleskosvodu na úrovni jímací soustavy. Varianta B je uvedena v podkapitole 7.2.
- Varianta C: U této varianty je pro ochranu objektu použito izolovaných vodičů HVI společně s izolovanými jímači. Návrh je doplněn o oddálený hromosvod v místech, kde použití vysokonapěťových komponentů nebylo možné. Návrh technického řešení Varianty C je uveden v podkapitole 7.3.

Platí, že všechny výše uvedené varianty uvažovaly, že maximální rychlost nárazového větru na úrovni střechy v okolí Brna nepřesahuje 105 km/h. [25]

Jelikož je součástí práce i finanční zhodnocení zpracovávaných variant, bylo na místě zvolit komponenty jednoho výrobce. Jedním z předních výrobců hromosvodových součástí, který nabízí vhodný materiál, je společnost Dehn. Výběr tohoto konkrétního výrobce/dodavatele byl čistě pragmatický, jelikož disponoval veřejně dostupnými informacemi o potřebných komponentech, které jsou vhodné a nezbytné pro všechny 3 zpracovávané varianty. Platí, že i jiní, v práci uvádění výrobci/dodavatelé, úplnou veřejnou dostupností informací o všech potřebných komponentech nedisponovali, proto právě v případě zvolení těchto výrobců/dodavatelů by musely být některé komponenty/součásti dodány například právě od společnosti Dehn. Druhým aspektem bylo, že součástí veřejně dostupného katalogu společnosti Dehn je i údaj o odolnosti vůči povětrnostním vlivům, který je oproti ostatním výrobcům/dodavatelům pohodlněji dohledatelný. Součástí finančního zhodnocení je rovněž i cena za montáž. Ceny za jednotlivé úkony byly čerpány z veřejně dostupných databází [34], které se mimo jiné soustředí i na montáž/zřízení uzemnění a hromosvodu.

Pro snadný popis a orientaci byly jednotlivé bloky objektu označeny písmeny podle Obrázek 7.1, přičemž bloky A a K jsou uvažovány jako pochozí.

| | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Severní blok; (9 m) | | | | |
| Blok A; (15 m) | Blok B; (18 m) | Blok C; (21 m) | Blok D; (18 m) | Blok E; (15 m) |
| Blok F; (9 m) | | | | |
| Blok G; (15 m) | Blok H; (18 m) | Blok I; (21 m) | Blok J; (18 m) | Blok K; (15 m) |
| Jižní blok; (9 m) | | | | |

Obrázek 7.1 Půdorys budovy a její rozdělení na bloky s výškou jednotlivých úrovní střech měřenou od zapraveného terénu

7.1 Varianta A – Oddálený bleskosvod se svody po fasádě objektu

Tato varianta by mohla být v praxi uplatněna pravděpodobně pouze pokud by byl LPS doděláván až po výstavbě objektu, v průběhu stavby by bylo opominuto spojování vodivých součástí objektu, nebo by toto spojení nesplňovalo požadavky podle E.4.3 z literatury [3]. V takovém případě je nutné zhotovit soustavu svodů po fasádě objektu a úroveň vyrovnání potenciálu pro určení dostatečné vzdálenosti počítat na hladině uzemnění, tj pro tento případ -6 m. Jelikož je objekt zařazen do LPS 1, měly by svody být umístěny rovnoměrně se vzdáleností do 10 m, je-li taková instalace možná. Na ploché části střech se pro vytvoření jímací soustavy ideálně nabízí zbudovat mřížovou jímací soustavu s rozměry ok do 5 m.

Návrh bleskosvodu začíná právě výpočtem dostatečné vzdálenosti. Rozměry objektu a její tvar však neumožňovaly použít pro takový výpočet program DehnSupport [6]. Ten je u členitého objektu (myšleno z hlediska několika úrovní střech) omezen rozměrem půdorysu do 100 m. Za účelem tohoto výpočtu musel být celý objekt kompletního návrhu hromosvodu překreslen do programu DEHNplan [26]. Maximální dostatečné vzdálenosti na jednotlivých částech střech jsou uvedeny na Obrázek 7.2, kde čísla v závorkách označují koeficient *km*.

7.1.1 Jímací soustava

Na základě hodnot daných výpočtem dostatečné vzdálenosti je možné začít tvořit jímací soustavu. Všechny její části musí být vzdáleny od jakýkoliv jiných předmětů minimálně na dostatečnou vzdálenost v daném místě pro daný materiál. Totéž platí i pro ocelovou armaturu ve střešní konstrukci. Je třeba zvolit takové izolované podpěry, aby vlivem napětí mezi vodičem jímací soustavy a armovacím prutem nedošlo k přeskoku mezi těmito částmi.

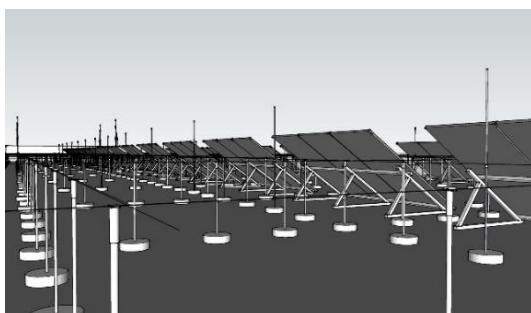
Bloky C a I

Na blocích C a I, tedy na částech objektu, kde jsou instalovány fotovoltaické panely musely být pro jejich ochranu před přímým úderem blesku použity jímací tyče FS GFK/AL, o celkové výšce 2000 mm s izolační délkou 975 mm [10], které jsou zobrazeny na Obrázek 7.3 a). Při doplnění těchto jímacích tyčí je ochranný prostor znázorněný na Obrázek 7.3 b) dostatečný a mřížová soustava již neslouží jako jímáč a mohla by být značně zjednodušena, v takovém případě se ale zvýší dostatečná vzdálenost na hodnoty, kdy je oddálení značně komplikované a nepraktické, a proto byla velikost ok ponechána na původně plánovaných hodnotách, tedy do 5 m. Do každého jednoho oka je umístěn právě jeden fotovoltaický panel, který je od vodičů bleskosvodu vzdálený natolik, že přeskok není možný, viz Obrázek 7.5 a).

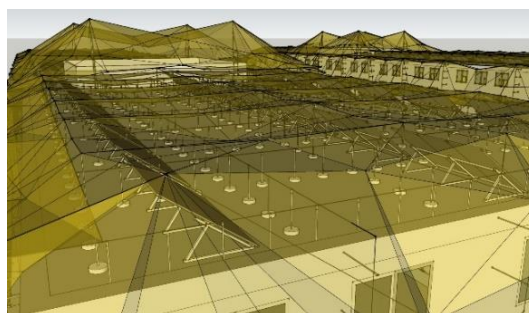
| | | | | |
|--|---|---|---|--|
| Severní blok; $s(1) = 485 \text{ mm}$ $s(0,7) = 693 \text{ mm}$ $s(0,5) = 970 \text{ mm}$ | | | | |
| Blok A; $s(1) = 518 \text{ mm}$ $s(0,7) = 740 \text{ mm}$ $s(0,5) = 1036 \text{ mm}$ | Blok B; $s(1) = 482 \text{ mm}$ $s(0,7) = 689 \text{ mm}$ $s(0,5) = 964 \text{ mm}$ | Blok C; $s(1) = 519 \text{ mm}$ $s(0,7) = 741 \text{ mm}$ $s(0,5) = 1038 \text{ mm}$ | Blok D; $s(1) = 467 \text{ mm}$ $s(0,7) = 667 \text{ mm}$ $s(0,5) = 934 \text{ mm}$ | Blok E; $s(1) = 415 \text{ mm}$ $s(0,7) = 593 \text{ mm}$ $s(0,5) = 830 \text{ mm}$ |
| Blok F; $s(1) = 603 \text{ mm}$, $s(0,7) = 861 \text{ mm}$; $s(0,5) = 1206 \text{ mm}$ | | | | |
| Blok G; $s(1) = 459 \text{ mm}$ $s(0,7) = 656 \text{ mm}$ $s(0,5) = 918 \text{ mm}$ | Blok H; $s(1) = 531 \text{ mm}$ $s(0,7) = 759 \text{ mm}$ $s(0,5) = 1062 \text{ mm}$ | Blok I; $s(1) = 524 \text{ mm}$ $s(0,7) = 749 \text{ mm}$ $s(0,5) = 1048 \text{ mm}$ | Blok J; $s(1) = 562 \text{ mm}$ $s(0,7) = 803 \text{ mm}$ $s(0,5) = 1124 \text{ mm}$ | Blok E; $s = 573 \text{ mm}$ $s = 819 \text{ mm}$ $s = 1146 \text{ mm}$ |
| Jižní blok; $s(1) = 490 \text{ mm}$, $s(0,7) = 700 \text{ mm}$; $s(0,5) = 980 \text{ mm}$ | | | | |

Obrázek 7.2 Vypočtená dostatečná vzdálenost (mm) Varianty A pro jednotlivé bloky, kde čísla v závorkách označují koeficient k_m

Je třeba dodržet dostatečnou vzdálenost i mezi hromosvodem a vodiči spojující fotovoltaické panely. Z původního rozmístění panelů však v průběhu návrhu muselo být upuštěno, dále jedna řada panelů musela být odstraněna. Tím došlo ke snížení výkonu z původních 287 kWp (456 ks × 630 Wp) na 208 kWp (330 ks × 630 Wp). Ochrana vzduchotechniky, znázorněná na Obrázek 7.4, je řešena pomocí čtyřech jímácích tyčí DEHNiso-Combi o celkové délce 5700 mm a izolační délkou 1535 mm [10].

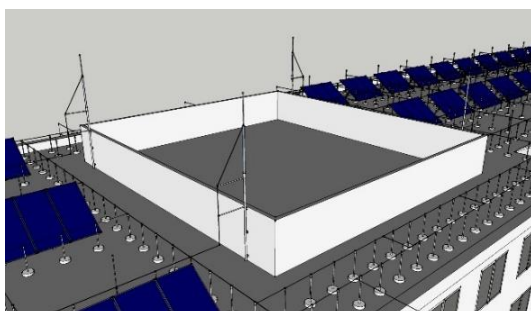


a)

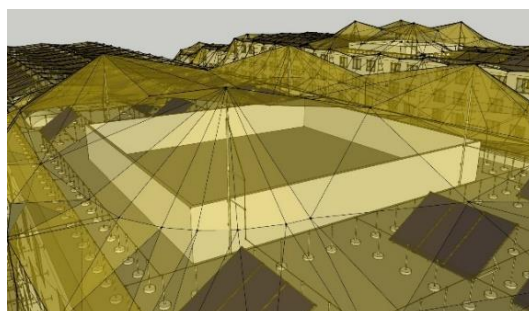


b)

Obrázek 7.3 Ochrana fotovoltaických panelů: a) pomocí izolovaných jímácích tyčí, b) ochranný prostor nad fotovoltaickými panely



a)



b)

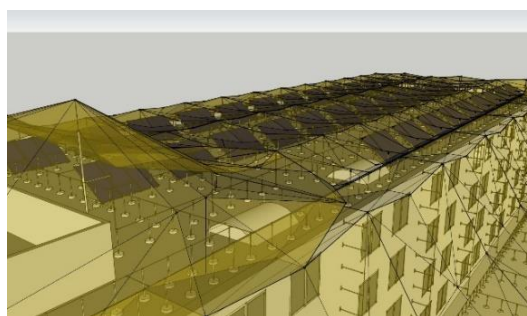
Obrázek 7.4 Ochrana vzduchotechniky: a) sestava DEHNico-Combi, b) vytvořený ochranný prostor nad vzduchotechnikou

Bloky A a K

Požadavkem investora bylo zhotovit LPS tak, aby bloky A a K byly provedeny jako pochozí. Tohoto požadavku na bloku A bylo dosaženo použitím izolovaných jímácích tyčí DEHNiso-Combi s celkovou délkou 4200 mm a izolační délkou 1535 mm umístěných v čtyřramenném stojanu (informace o použitém stojanu viz [10]). Samotné provedení je ilustrováno na Obrázek 7.6 a). Zmíněný stojan při použití jímací tyče podobných rozměrů podle [27] odolá při použití čtyřech kusů betonových podstavců rychlosti větru do 132 km/h. Toto řešení podle Obrázek 7.6 b) spolehlivě vytvoří ochranný prostor pro celou plochu střechy.

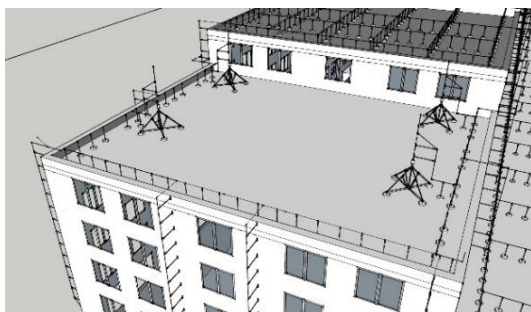


a)

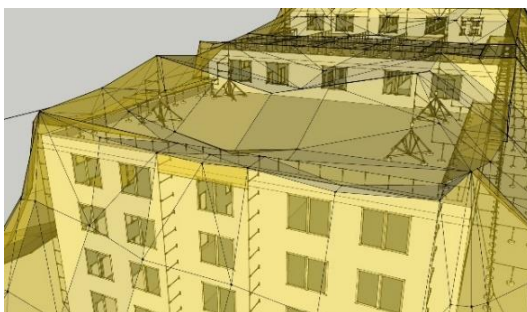


b)

Obrázek 7.5 Ochrana FVE: a) oddálení vodiče hromosvodu od FVE, b) ochranný prostor nad blokem C



a)



b)

Obrázek 7.6 Jímáče na bloku A: a) izolační jímáčí tyče ve stojanu, b) ochranný prostor nad blokem A

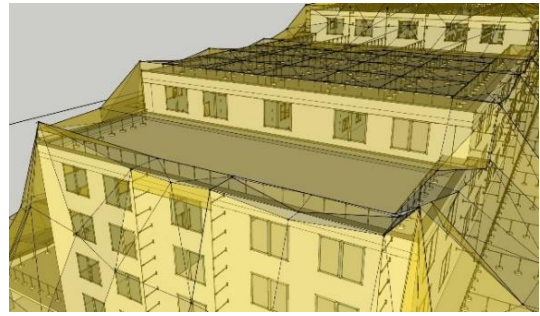
Na bloku K není zapotřebí díky malé ploše střechy takové jímáče budovat, ochranný prostor znázorněn na Obrázek 7.7 b) je vytvořen jímací soustavou na bloku J a obvodovým vedením na bloku K. Vnější rohy jsou doplněny jímáčí tyče délky 1000 mm pro ochranu vrcholů atiky s odklonem 30 ° od vertikálního směru, viz Obrázek 7.7 a).

Bloky B, D, E, G, H, J

Na těchto částech není vyčnívajících předmětů ani požadavků na možnost pohybu osob, a proto zde stačí jímací soustavu tvořit jako prostou mříž s rozměry ok do 5 m. (Obrázek 7.8 a)). Díky vytvoření ochranného prostoru příčným obvodovým vedením na vyšší úrovni střechy mohly být právě dvě příčné větve odstraněny (Obrázek 7.8 b)). Tento krok funkci hromosvodu pro stránce jímáče i po stránce dostatečné vzdálenosti negativně neovlivní, navíc dojde k úspoře materiálu. Celkem bude ušetřeno 6 × 30 ks betonových podstavců, 6 × 30 ks izolovaných tyčí, minimálně 6 × 41 m drátu a minimálně 6 × 16 ks svorek v závislosti na konkrétním provedení montáže.

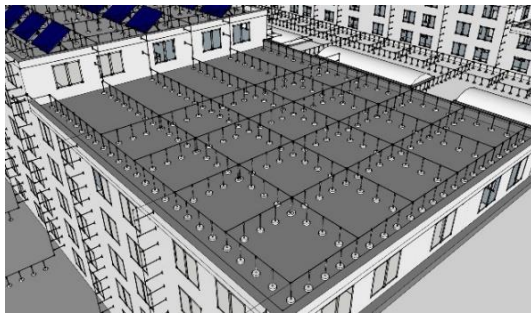


a)

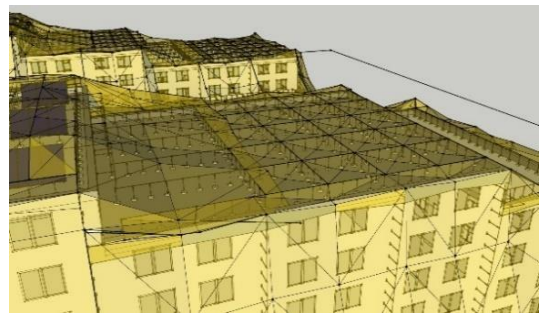


b)

Obrázek 7.7 Jímač na bloku K: a) doplnění o metrové jímací tyče na obvodovém vedení, b) ochranný prostor nad blokem K vytvořený obvodovým vedením a vnějším LPS na bloku J



a)



b)

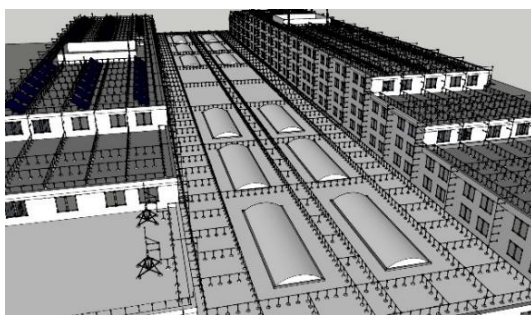
Obrázek 7.8 a) Mřížový jímač na bloku J, b) ochranný prostor nad blokem J

Blok F

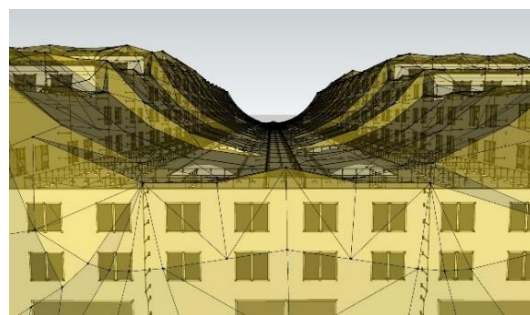
Prostřední křídlo objektu je nutné rovněž chránit před úderem blesku, protože realizovaný model ukázal, že pomyslná valivá koule by díky šířce křídla propadla na rovinu střechy (Obrázek 7.9 b)). Ochrana před úderem blesku by šla vybudovat pouze umístěním vodiče po celé délce bloku uprostřed. V takovém případě by však vypořádání s dostatečnou vzdáleností nebylo realizovatelné. Navíc je třeba dostatečně propojit i svody vedoucí na tuto část objektu z jeho vyšších částí. Byla tedy vybudována kompletní mříž, která byla postupně optimalizována. Dlouhé (podélné) části vedení nemohly být redukovány, protože tím by došlo ke zvýšení dostatečné vzdálenosti na hodnoty přesahující izolační pevnost izolačních tyčí. Redukováním vybraných příčných propojení k rapidní úspoře materiálu nedošlo, navíc neperiodický rozestup propojení by značně zkomplikoval montáž.

Jak lze spatřit na Obrázek 7.9 a), optimalizace je ale možná, i vhodná, ve střední části bloku. Absencí ok v těchto místech dojde k ušetření 221 ks betonů a izolačních tyčí, minimálně 228 m hromosvodového vodiče a minimálně 48 ks svorek. Dostatečná

vzdálenost v těchto místech nepřekračuje izolační pevnost distančních tyčí. Navíc jsou tato místa provedena takovým způsobem, který nezabraňuje použití stejných světlíků v těchto místech, a tedy by toto řešení zapříčinilo nejen úsporu materiálu, ale i více denního světla ve vnitřních prostorách objektu. Přidání světlíků však není hlavním důvodem redukce LPS, navíc by se tyto světlíky (kvůli rozměrům objektu) na průchodu denního světla do budovy příliš nepodílely.



a)



b)

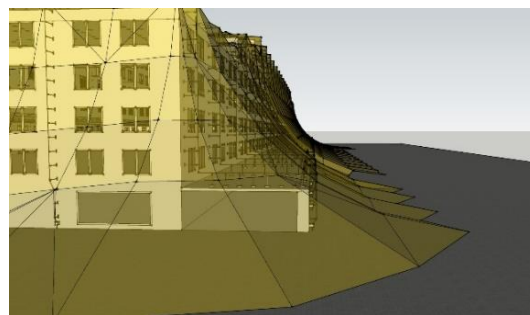
Obrázek 7.9 Ochrana bloku F: a) mřížový jímač po optimalizaci, b) ochranný prostor nad blokem F

Severní a jižní blok

Tyto bloky jsou díky vnějším svodům chráněny před úderem blesku bez dodatečných jímačů (Obrázek 7.10 b)). Jelikož ale na převisu střechy byla dostatečná vzdálenost vysoká a použití dlouhých izolačních tyčí by nebylo praktické, jsou jednotlivé svody na těchto blocích mezi sebou spojeny. Tím dojde k poklesu dostatečné vzdálenosti, při kterých lze použít nejkratší vyráběné izolační podpěry od výrobce Dehn. Jejich celková délka činí 530 mm, izolační činí 445 mm [10]. Zobrazení vzájemného propojení svodů je zobrazeno na Obrázek 7.10 a).



a)



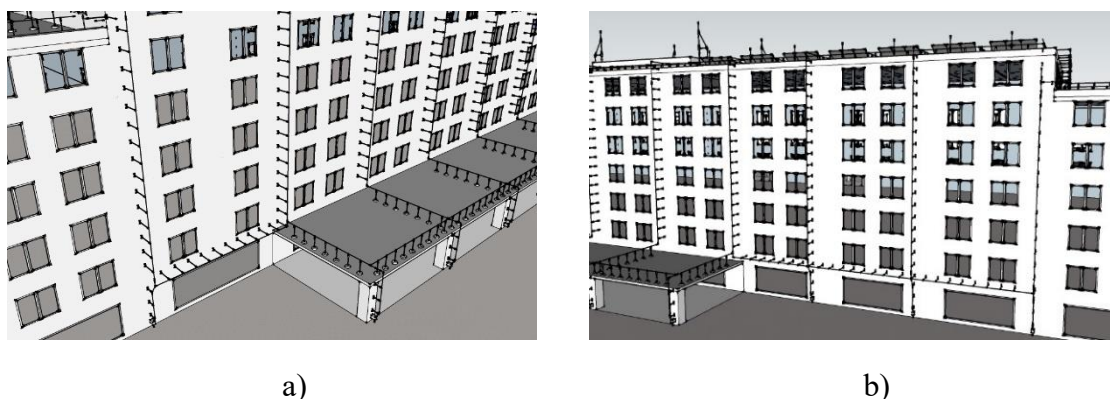
b)

Obrázek 7.10 Ochrana severního a jižního bloku: a) jímač tvořený soustavou svodů na jižním bloku, b) ochranný prostor nad jižním blokem

7.1.2 Soustava svodů

Vnější svody musí být opět oddáleny od stěn objektu, protože je v nich rovněž armovací železo. Obecně platí, že čím více se přibližují k zemi, tím se dostatečná vzdálenost snižuje. Opět i zde je pro jednoduchost návrhu a případné montáže uvažováno s jedním typem nástěnných izolačních podpěr po celém obvodu objektu (celková délka 1030 mm, izolační 945 mm [10]), avšak na úrovni prvního nadzemního podlaží je z praktických i estetických důvodů použito co možná nejkratších podpěr. Aby mohly být použity distanční držáky s celkovou délkou 530 mm a izolační 445 mm [10] musely být přístřešky vybaveny podélným vedením na jejich vnější hraně.

Na severní straně objektu se však vyskytovaly svody vedoucí z nejvyšší části budovy (blok C), pro které by tyto podpěry nemohly být použity ani takto nízko nad zemí. Z toho důvodu jsou zmíněné svody ve výšce přibližně 3500 mm nad definitivně upraveným terénem spojeny mezi sebou podélně, čímž došlo ke snížení dostatečné vzdálenosti pod zmíněných 445 mm (Obrázek 7.11). Svody umístěné mezi okny se nad úroveň atiky připojují na obvodové vedení. Pro snadnější instalaci svodů v místě připojení na jímací soustavu, tj. nad plochou atiky, je třeba nahradit oplechování parapetu plastovým, bitumenovým nebo jiným nevodivým ekvivalentem pro vyloučení přeskočení na tyto části. Při nedodržení tohoto požadavku by tvar svodu po oddálení nebyl estetický, zvýšením délky vodiče by se zvýšila dostatečná vzdálenost a svod by nebyl optimálně mechanicky zajištěn.



Obrázek 7.11 Propojení svodů bloku C: a) pohled ze severozápadu, b) pohled ze severovýchodu

Platí, že ani pod terénem nemá dojít k přiblížení svodu ke zdem podzemních podlaží na nižší než dostatečnou vzdálenost. U staveb vyšších než je velikost poloměru valivé koule (pro LPS 1 je poloměr valivé koule roven 20 m) by mohlo dojít k opření valivé koule o bok objektu. V praxi to představuje možný úder blesku do boku objektu. Pro budovy s výškou nepřesahující 60 m však není nutné zřizovat ochranu těchto ploch, protože pravděpodobnost úderů blesku do svislých hran je podle [3] velice nízká. Jelikož

je ale budova opatřena svody s malým rozestupem a velkým oddálením od fasády, je ochrana zajištěna i v těchto místech.

Svody z budovy však budou přístupné veřejnosti a ta je ohrožena krokovým a dotykovým napětím, pakliže se nachází ve vzdálenosti nepřesahující 3 m. Za předpokladu, že je použita soustava alespoň 10 svodů, je toto nebezpečí podle [3] zmenšeno na přípustnou úroveň. Stejnou úroveň „ochrany“ však podle stejné legislativy poskytuje i výstražná tabulka umístěna na těchto částech nebo zábrana zamezující fyzické přiblížení osob. Z pohledu praxe je však tento způsob zabránění zranění poněkud diskutabilní. Proto je na zvážení využít jiné přípustné metody vedoucí ke spolehlivé ochraně. Podle [3] může být ochranou metodou zamezující úraz dotykovým napětím použití izolovaných svodů (např. vodiče HVI nebo CUI), ochranu vylučující úraz živých bytostí vlivem krokových napětí lze vyřešit zvýšením rezistivity podloží (např. asfaltový povrch). V opačném případě, kdy nelze rezistivitu podloží zvýšit, se nabízí zbudování mřížové uzemňovací soustavy, která zapříčiní minimální hodnoty potenciálů mezi dvěma body. Toto opatření pozitivně ovlivní výsledek výpočtu analýzy rizika.

7.1.3 Zemnicí soustava

Je uvažováno s instalací základového zemniče před zalitím betonem do základových pásů s vyvedením drátu FeZn s průměrem 10 mm v místech připojení na svody. Tyto vodiče jsou vedeny v zemině od základového zemniče ke zkušební sorce. Jelikož je celý hromosvod řešený jako izolovaný, drát by neměl být ukotven do stěn podzemních podlaží, nýbrž oddálen minimálně na dostatečnou vzdálenost pro $km = 0,5$. Všechny spoje uzemnění řešeny svorkováním by měly být provedeny pomocí dvou svorek opatřených antikorozi ochranou. Antikorozi ochranou mají být opatřeny i části vedoucí z betonu do zeminy, z betonu na vzduch či ze zeminy na vzduch, viz část 2.2.3. Detailní provedení zemniče není cílem této práce.

7.1.4 Seznam použitého materiálu

Distributoři materiálu jsou uvedeni v závorkách, přičemž data o materiálu jsou čerpána z: (Dehn) [10], (OBO Bettermann) [28], (Tremis) [29].

Část střech

Jak již bylo zmíněno v části 7.1.1 je na rovinných částech střech třeba použít izolačních podpěr z GFK materiálu s izolační délkou minimálně 861 mm (viz Obrázek 7.2). Proto byl vybrán distanční držák DEHNiso DIDH 7.10 1015 V2A GFK16 s katalogovým číslem 106 175 od výrobce Dehn. Tento držák má izolační délkou 935 mm, celkovou délkou 1015 mm a při použití 17 kg betonového podstavce odolá nárazovému větru do rychlosti 125 km/h. Ekvivalent nabízí např. výrobce Tremis, tyč ITVc 93 (VP150) s izolační délkou 930 mm nebo OBO Bettermann s katalogovým číslem 5408108 a izolační délkou 1500 mm. Tyto držáky jsou umístěny v betonových

podstavcích, např. BES 17KG KT16 ULP D337 SET (102 340) (Dehn), FangFix 16 kg (5403227) (OBO Bettermann) nebo PB 19 (V545) (Tremis).

Hromosvodový vodič různých materiálů (AlMgSi, Cu, nerez) s průměrem 8 mm nabízí celá řada výrobců. Dále je třeba respektovat roztažnost vodiče vlivem teplotních změn a instalovat dilatační propojky v rovnoměrných rozestupech po několika málo desítkách metrů.

Ochrana fotovoltaických panelů je provedena pomocí jímacích tyčí FS 16 10 2000 GFK AL (106 210) (Dehn) s izolační délkou 975 mm a celkovou délkou 2000 mm. V případě vsunutí do dvou 17 kg betonových podstavců odolá nárazovému větru do rychlosti 105 km/h. Ekvivalent Tremis nenabízí, OBO Bettermann neudává maximální zatížení větrem.

Ochrana vzduchotechniky je provedena pomocí sestavy DEHNiso–Combi délky 5700 mm s označením DICS WB D50 10 5700 GFK AL V2A (105 455) (Dehn). Jedná se o jímací tyč, jejíž středový díl o délce 1535 mm je z materiálu GFK. Je předpokládáno, že obvodová protihluková stěna vzduchotechniky je dostatečně odolná na přišroubování této tyče. Při splnění instalačních podmínek odolá rychlosti větru až 206 km/h. Ostatní zmiňovaní výrobci ekvivalenty nenabízí. Blok A je chráněn stejným typem tyčí DICS WB D50.10 4.2M GFK AL V2A (105 440) (Dehn), ovšem jejich celková délka je 4200 mm. Tyto tyče jsou vsazeny do čtyřramenných stojanů pro jímací tyče VBS KB D50 RA1330 V2A (107 491) (Dehn). Takový stojan zatížen čtyřmi 17 kg betonovými podstavci odolá podle [27] rychlosti nárazového větru 132 km/h. Ekvivalent není zmiňován, protože ostatní výrobci neudávají konkrétní maximální zatížení větrem.

Spojování součástí by mohlo být provedeno pomocí univerzálních svorek UV 8.10 KTP V2A (315 119) (Dehn), Rychlosvorka Varío, FT (5311500) (OBO Bettermann), SUB (V010) (Tremis) nebo jakýmkoli jiným ekvivalentem.

Dále jsou bloky C, E, F, G, I a K doplněny jímacími tyčemi délky 1000 mm. Např. FS 10 1000 AL (101 000) (Dehn), Jímací tyč jednostranně připojená, závit M16 Obj. č. 5401771 (OBO Bettermann) nebo JR 1,0 AlMgSi (VN3000) (Tremis).

Část svodů

Co se vlastních svodů týče, nad rámec předchozí kapitoly je na straně materiálu zajistit pouze nástěnné distanční držáky a zkušební svorky. Minimální izolační délka distančních držáků DEHNiso musí překračovat dostatečnou vzdálenost v daném místě. Jsou tedy plánovány podpěry DIDH 7.10 1030 BP V2A GFK (106 105) (Dehn) délky 1032 mm v horní části objektu a DIDH 7.10 530 BP V2A GFK (106 090) (Dehn) ve spodní části objektu s délkou 530 mm. Možnost je i použití Stavitelný izolační příčník – stěna (5408852) (OBO Bettermann) nebo DOHS –,T,, držák oddáleného hromosvodu (VP001) + ITVc 93 (VP150) (Tremis). Zkušební svorka je opět běžným materiálem prodávaná v několika variantách a několika výrobci. Je volena svorka UTK 7.10 7.10 S ZP STTZN (459 003) (Dehn).

Část uzemnění

Pro zemniče se často používá pásovina 30 × 4 mm jako je BA 30X4 STTZN R52M (810 304) (Dehn) nebo její ekvivalent. Spoje pásů jsou realizovány pomocí křížových svorek pro 2 pásy KS FL30 STTZN (318 033) (Dehn) a spojení pásů s drátem pomocí křížových svorek pro drát a pásek KS 8.10 FL30 STTZN (318 201) (Dehn), přičemž každý spoj je opatřen dvěma kusy svorek. Spoje jsou opatřeny antikorozi ochranou.

7.1.5 Zhodnocení

Metoda oddálených hromosvodů pro zadaný objekt je značně nevhodná. Je zapotřebí velké množství izolačních tyčí, betonových podpěr a mít neustále na paměti, že jakékoliv přiblížení k částem staveb na vzdálenost nižší, než vypočtenou dostatečnou vzdálenost vede ke znehodnocení celého návrhu a ten se stává neúčinným – velký důraz je třeba klást na křížení s metalickým vedením fotovoltaického systému a křížením s atikou. Dále by působení vnějších vlivů v podobě větru a námrazy mohlo při nedokonalé montáži bleskosvod poničit. Totéž platí i pro spodní části svodů přístupné veřejnosti, které by nemusely odolat působení vandalů.

Z pohledu estetiky působí toto řešení dosti rušivě a neprofesionálně, z pohledu technických inženýrů je výsledek obdobný – extrémní zatížení střechy a částečné zastínění fotovoltaických panelů vedením jímací soustavy. S tím se pojí i nemožnost následné jednoduché úpravy výroby bez zásahu do hromosvodu. Výhodou tohoto řešení je však jeho robustnost z pohledu svedení bleskového proudu do země, nemožnost přeskočení na jiné části (je-li LPS dobře zhotoven) a díky velkému počtu vzájemně propojených větví a svodů i menší magnetické pole v okolí vodičů.

Na základě vytvořeného modelu je součástí práce i konkrétní výčet komponent včetně počtu kusů, který je uveden v Příloha B -. Součástí jsou i ceny jednotlivých výrobků a ocenění prací pro zhotovení návrhu.

Další grafické výstupy Varianty A jsou k nahlédnutí v Příloha C -.

7.2 Varianta B – Bleskosvod připojený na ocelový skelet stavby

Toto řešení ochrany před bleskem se v praxi pro tento typ objektů uplatňuje často, a to proto, že není nutná montáž svodů po dokončení výstavby. Na druhou stranu může být propojování veškerých vodivých částí v nosných částech objektu zdlouhavá a pracná činnost v porovnání s jinými přístupy (např. využití prvků HVI v kapitole 7.3). Spojení musí být podle článku E.4.3 normy [3], tzn. spojování svařováním, nebo spojování pomocí svorek. Z pohledu stavebnictví však svařování betonářské uhlíkové oceli není vhodné podle [30], protože svařováním se sice zvýší pevnost a tvrdost materiálu, ale plastické vlastnosti se sníží, navíc hrozí zakalení. Rovněž mají mít některé součásti možnost dilatace, takže splnit požadavky norem na spoje a současně nebýt v kolizi po

stránce stavební a statické nemusí být vždy banální záležitost. Někdy se při montáži betonářské oceli k jejím částem doplní drát mající funkci pouze elektrického vodiče (množství tohoto drátu je zakotveno v rozpočtu). Pro posouzení kvalit této metody je však uvažováno, že jsou všechny předpisy splněny, a ocelový skelet stavby pro ekvipotenciální pospojování použit lze.

V takovém případě norma uvažuje dokonalé rozdělení bleskového proudu napříč celým objektem ve všech vodivých částech, a na úrovni svodů nebere v potaz možný přeskok. I při výpočtu dostatečné vzdálenosti se používá jako místo vyrovnání potenciálů na úrovni spojení jímací soustavou na ocelovou armaturu. Následkem je díky minimálním vzdálenostem mezi možným úderem blesku a místem vyrovnání potenciálu rapidně nižší dostatečná vzdálenost než v předchozím případě. Dále podle normy ČSN EN 62 305 část 3 ed.2 [3] odstavec 6.3 není nutné dodržet vypočtenou dostatečnou vzdálenost mezi LPS a železobetonovou konstrukcí. Pravděpodobně se uvažuje, že když jsou tato dvě tělesa po několika jednotkách metrů vodivě spojena, není důvod k přeskoku přes tepelné a hydroizolace na železobeton. Podle výpočtu však hodnota napětí mezi těmito částmi na přeskok v těchto hmotách potenciál má. Hodnoty (maximální na daném bloku) dostatečné vzdálenosti jsou zobrazeny na Obrázek 7.12

7.2.1 Jímací soustava

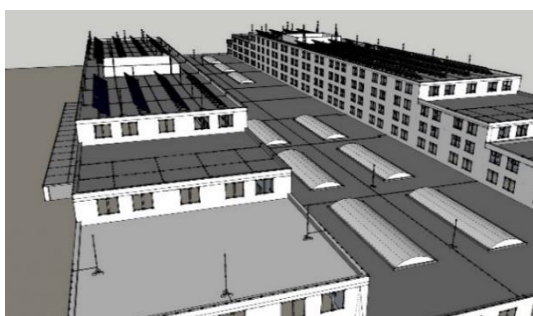
Vedení jímací soustavy je tvořeno obvodovým vedením po vnější hraně atiky instalovaným v betonových podpěrách o hmotnosti 1 kg. Pakliže je opláštěná atika provedena vodivým materiálem, je třeba oplechování s LPS pravidelně a trvanlivě spojit. Toto vedení na příčných stranách atiky vždy vytváří ochranný prostor i pro část spodnější střechy, a proto na blocích A, B, D, E, G, H, J, K není nutné zbudování mřížové jímací soustavy na jejich celé ploše. Jímací soustava v plochách jednotlivých bloků je popsána níže. I v této variantě je na místě instalace dilatačních propojek zabraňujících deformaci LPS vlivem teplotních změn. Jímací soustava je připojena na ocelový skelet na obvodech střech po každých devíti metrech v místě nosných sloupů.

Bloky A a K

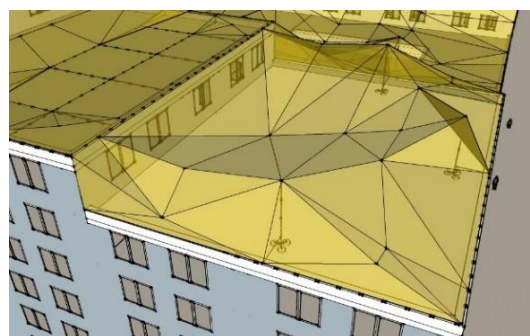
I zde bylo požadavkem investora zhotovit vnější LPS tak, aby bloky A a K byly pochozí. Jak znázorňuje Obrázek 7.14, pro blok K stačí jako ochrana pouze obvodové vedení umístěné na atice. V případě bloku A muselo být použito třech jímacích tyčí a celkové výšce 3500 m doplněných o 3 kusy betonových podstavců s hmotností 17 kg (Obrázek 7.13). Informace o použitém stojanu viz [10].

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Severní blok; s (1) = 280 mm s (0,7) = 400 mm s (0,5) = 560 mm | | | | |
| Blok A; s (1) = 200 mm s (0,7) = 286 mm s (0,5) = 400 mm | Blok B; s (1) = 230 mm s (0,7) = 329 mm s (0,5) = 460 mm | Blok C; s (1) = 450 mm s (0,7) = 643 mm s (0,5) = 900 mm | Blok D; s (1) = 230 mm s (0,7) = 329 mm s (0,5) = 460 mm | Blok E; s (1) = 240 mm s (0,7) = 343 mm s (0,5) = 480 mm |
| Blok F; s (1) = 460 mm, s (0,7) = 657 mm; s (0,5) = 920 mm | | | | |
| Blok G; s (1) = 240 mm s (0,7) = 343 mm s (0,5) = 480 mm | Blok H; s (1) = 230 mm s (0,7) = 329 mm s (0,5) = 460 mm | Blok I; s (1) = 470 mm s (0,7) = 671 mm s (0,5) = 940 mm | Blok J; s (1) = 240 mm s (0,7) = 343 mm s (0,5) = 480 mm | Blok K; s = 50 mm s = 71 mm s = 100 mm |
| Jižní blok; s (1) = 270 mm, s (0,7) = 386 mm; s (0,5) = 540 mm | | | | |

Obrázek 7.12 Vypočtená maximální dostatečná vzdálenost (mm) Varianty B pro jednotlivé bloky, kde čísla v závorkách označují koeficient k_m

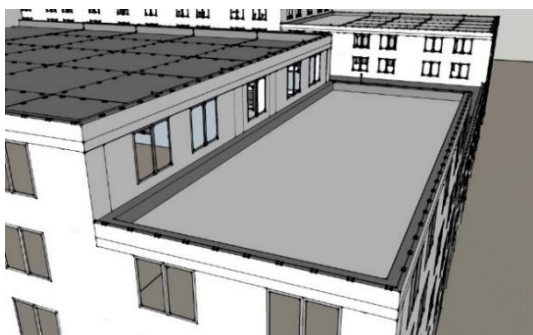


a)



b)

Obrázek 7.13 Ochrana bloku A: a) jímáč vytvořený pomocí 3 tyčí, b) vytvořený ochranný prostor nad blokem A



a)



b)

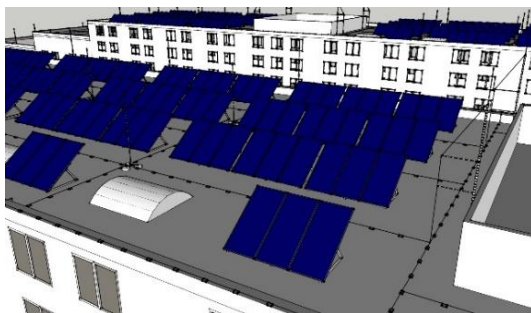
Obrázek 7.14 Jímáč na bloku K: a) obvodové vedení na atice bloku, b) ochranný prostor nad blokem K

Bloky C a I

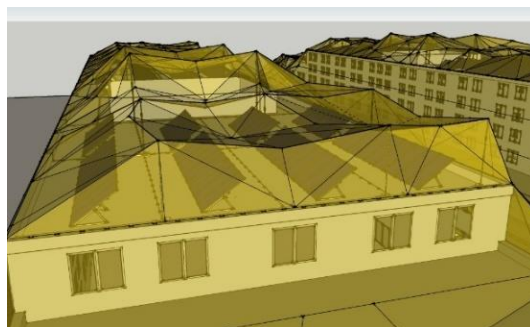
Na částech C a I (tedy částech osazenými FVE) se díky malým dostatečným vzdálenostem a možnosti ignorace oddálení vůči armování ve stropě posledního podlaží mohlo přistoupit k řešení, kdy ochrana panelů je řešena opět jako v předchozím případě pomocí strojených jímacích tyčí, ovšem tentokrát neizolovaných a o výšce 3500 mm [10], viz Obrázek 7.15. To vede k možnosti zvětšení ok mříže, což umožňuje instalaci většího počtu fotovoltaických panelů v porovnání s Variantou A (viz část 7.1). Velikost navržených ok a ochranný prostor vytvořený soustavou jímacích tyčí jsou zobrazeny na Obrázek 7.16 V této variantě tedy výkon FVE zůstal na původně plánovaných 287 kWp. Použití takto vysokých jímáčů vede ke snížení jejich počtu. Ochrana vzduchotechniky je řešena stejným způsobem jako ve Variantě A a tím pádem její instalace nejsou protékány proudem způsobeného atmosférickým výbojem. Není zde třeba soustavu doplňovat o jiné typy jímacích tyčí.

Blok F

Ochrana světlíků na bloku F je rovněž vyřešena pomocí volně stojících jímacích tyčí s výškou 3500 mm, celkem o čtyřech kusech. Pro ochranu ostatních ploch je dostačující podélné vedení středem bloku, které je spojeno na armaturu do oblasti nosných sloupů takovým způsobem, který by rovněž neznemožnil doplnění dalších čtyřech světlíků a současně dostatečné vzdálenosti nepřesahují hodnoty na ostatních blocích.

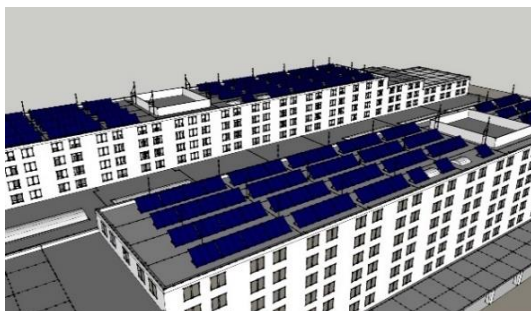


a)

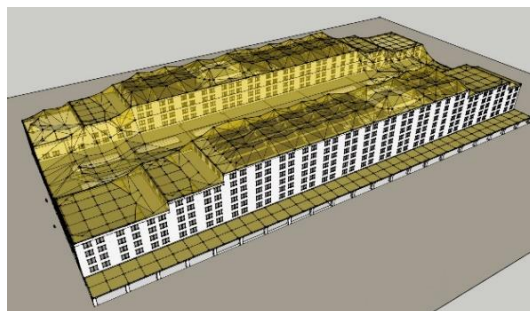


b)

Obrázek 7.15 Ochrana bloku I: a) jímací tyče chránící vzduchotechniku a FVE, b) ochranný prostor



a)

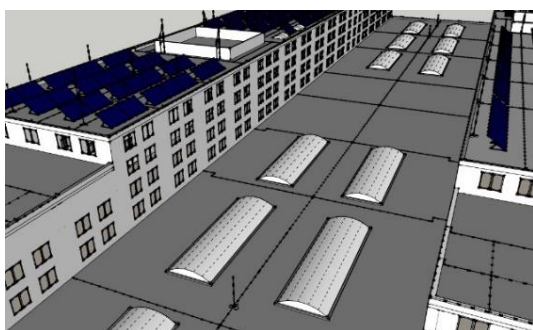


b)

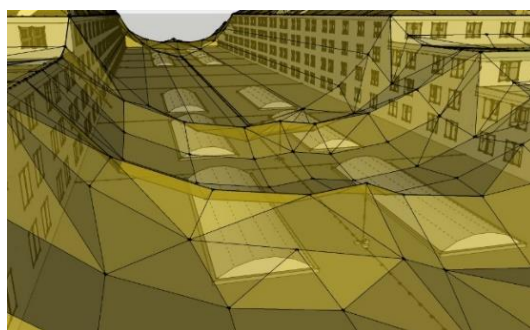
Obrázek 7.16 a) syntéza LPS a FVE, b) ochranný prostor celé budovy – pohled z jihovýchodu

Severní a jižní blok

Jelikož v této Variantě B nejsou střechy chráněny svody, je nezbytné jímací soustavu navrhnout. Pro oba bloky je použita metoda mřížové soustavy podle Obrázek 7.18 s rozměry ok do pěti metrů.

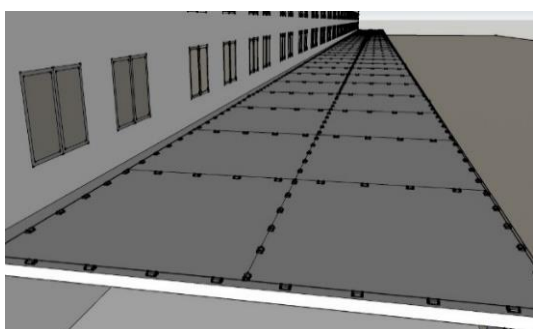


a)

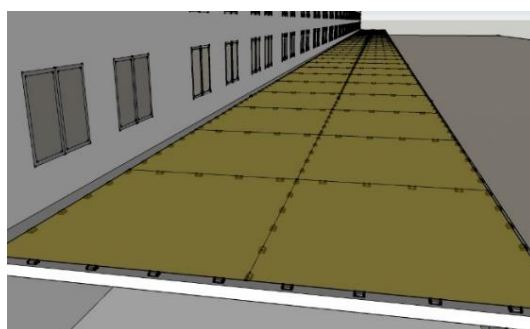


b)

Obrázek 7.17 Ochrana bloku F: a) doplnění o jímací tyče chránící světlíky, b) ochranný prostor



a)



b)

Obrázek 7.18 Ochrana severního a jižního bloku: a) jímač řešený mřížovou soustavou na jižním bloku, b) vytvořený ochranný prostor na jižním bloku

7.2.2 Seznam použitého materiálu

Pro relevantní finanční zhodnocení jsou opět použity komponenty společnosti Dehn. Náhrady tohoto materiálu již nebudou vypisovány, ačkoliv by upřednostnění jiného výrobce mohlo být možné. Data jsou čerpána z katalogu výrobce [10].

Část střech

Na střeše objektu je použito hromosvodové vodiče AlMgSi s průměrem 8 mm umístěným v betonových podstavcích o hmotnosti 1 kg. Jímací tyče pro ochranu vzduchotechniky jsou shodné s Variantou A. Jímací tyče délky 3500 mm poskytující ochranu bloku A, C, I a světlíků na bloku F s katalogovým číslem (105 535) odolají nárazovému větru do 139 km/h a jsou opatřeny svorkami pro jímací tyče (392 050). Pro spojování je uvažováno univerzálních svorek UV 8.10 KTP V2A (315 119).

Část svodů

Bere se v úvahu, že svedení bleskového proudu a ekvipotenciální pospojování je řešeno při výstavbě vodiče FeZn s průměrem 10 mm, který je spojován křížovou svorkou pro 2 dráty.

Část uzemnění

Řešeno obdobně s Variantou A.

7.2.3 Zhodnocení

Přestože se tato metoda může jevit jako výrazně vhodnější, než Varianta A, i tato varianta má své nevýhody. Aby byl zřejmý kontrast mezi jednotlivými variantami, je zde aplikována možnost nedodržení dostatečné vzdálenosti mezi jímací soustavou a výztuhou střešní konstrukce dle již zmiňované normy a zvětšení ok mřížové soustavy na rozměry, při kterých není nutno snižovat instalovaný výkon. Přestože takové řešení vede k naplnění požadavků technických norem [3], výpočty ukazují, že technické řešení správné není a teoreticky by mohlo dojít k přeskočení blesku na tyto části. Tím by došlo k narušení střešní krytiny a tepelné izolace, potažmo k jejímu propálení a v nejhorším případě i vznícení.

Obecně je tedy třeba zvážit, zda hromosvod nezbudovat tak, aby k přeskočení v žádném případě nemohlo dojít, ať už nadzvednutím vodičů na izolační tyče, nebo v lepším případě, pospojováním na více místech. Další obrovskou nevýhodou je složitost dokonalého elektrického spojení při výstavbě objektu. Aby spojení splňovala předepsané parametry, je nezbytné použití velkého množství svorek nebo svárů, kdy se jejich montáž po finanční stránce značně projeví. Problémy spojů po stavební stránce nejsou v práci dále rozváděny. Pakliže jsou kovové prvky objektu dobře elektricky spojeny, zjednoduší se nejen celý návrh i instalace jímací soustavy, ale ke zjednodušení dojde i při plánování a budování vnitřních rozvodů. Tato metoda rovněž neumožňuje úpravu FVE bez zásahu do vnějšího LPS.

Varianta B má rovněž zhotoven rozpočet vycházející z vytvořeného modelu, který je k nahlédnutí v Příloha D -. I v tomto případě je součástí cena materiálu a cena práce.

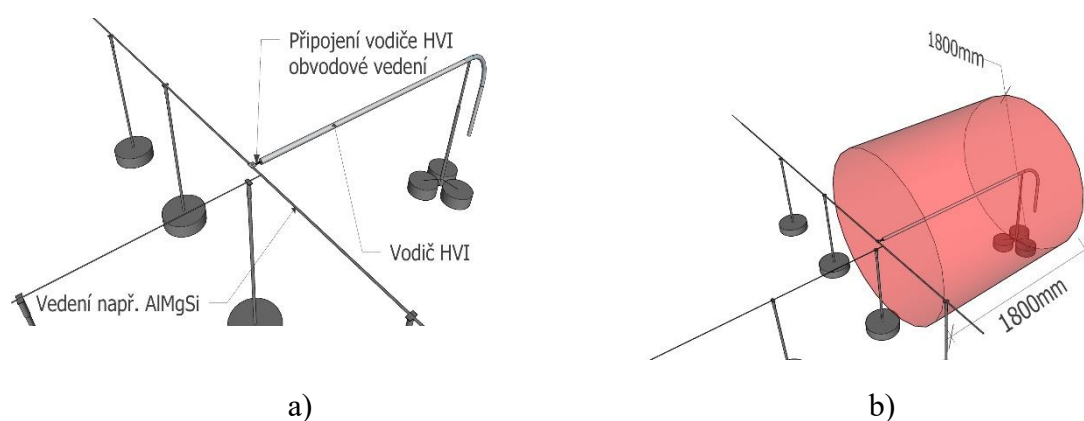
7.3 Varianta C – Využití HVI komponentů

Jak již bylo zmíněno v části 2.2.5 této práce, použití těchto speciálních komponent může značně zjednodušit návrh i montáž vnější ochrany před bleskem. Omezeními z pohledu vhodného návrhu je jednak dodržení dostatečné vzdálenosti v oblasti koncovky, tj. v místě, kde se připojuje vysokonapěťový vodič na kovové prvky v podobě jímacích tyčí, obvodového vedení aj. a dále instalace HVI vodiče v ochranném prostoru hromosvodu. Kvůli zařazení objektu do LPS 1 muselo být použito součástí z řady HVI power schopných svést bleskový proud až do výše 200 kA. Oblast koncovky tohoto vodiče je charakterizována maximální dostatečnou vzdáleností 0,9 m pro $k_m = 1$ s délkou fiktivního

válce 1,8 m od připojení vodiče [31]. V tomto prostoru tedy nemohou být žádné předměty. Doplňujícím materiálem pro lepší pochopení oblasti koncovky může být Obrázek 7.19. Vzhledem k rozsáhlým rozměrům objektu bylo nalezení takového spojení vedoucí k dodržení oblasti koncovky na blocích C a I značně pracné a u většiny připojení se dostatečná vzdálenost pohybuje těsně pod hranicí 900 mm. Na druhou stranu je počítáno s tím, že vodič vede přes atiku. Pakliže by byl veden skrze otvor v parapetu, jeho délka by se zkrátila a tím by došlo i ke snížení dostatečné vzdálenosti s .

7.3.1 Jímací soustava

Jímací soustava by v ideálních podmínkách šla vyřešit pouze pomocí podpůrných trubek pro vodiče HVI s dlouhou jímací tyčí – bližší představení v části 7.3.4 této práce a vodičů HVI. Kombinace s „klasickým“ kovovým hromosvodem by z pohledu zachycení blesku nebyla nutná, pakliže by existovalo takové řešení, při kterém by bylo možné dodržet dostatečnou vzdálenost při snesitelných investičních nákladech. Zmíněné jímací tyče určené pro řadu HVI power disponují pouze dvěma svorkami pro připojení vodiče HVI, a proto pro lepší rozdělení bleskového proudu a snížení dostatečné vzdálenosti je nezbytná instalace oddáleného vedení po obvodě každého bloku (každá jímací tyč je na obvodové vedení spojena právě dvěma vodiči). Právě kvůli dostatečné vzdálenosti musel být blok F vybaven hustě propojenou mřížovou jímací soustavou, která je propojena s obvodovým vedením vyšších částí střech. Vzhledem k počtu svodů a finančních nákladů je toto propojení navrženo oddáleným kovovým svodem po fasádě i přes jeho neestetický dopad. Na druhou stranu, tyto svody budou viditelné zejména z oken objektu, z ulice budou viditelné minimálně. Po vnějším obvodu objektu jsou svody zhotovené pomocí vodičů HVI, které nejsou v modelu zakreslovány, protože je jejich instalace možná i do zdiva.



Obrázek 7.19 Připojení vodiče HVI: a) na obvodové vedení, b) vyznačení oblasti koncovky pomocí fiktivního válce

| | | | | |
|--|---|---|---|---|
| Severní blok; s (1) = 669 mm s (0,7) = 956 mm s (0,5) = 1338 mm | | | | |
| Blok A; s (1) = 826 mm s (0,7) = 1180 mm s (0,5) = 1652 mm | Blok B; s (1) = 794 mm s (0,7) = 1134 mm s (0,5) = 1588 mm | Blok C; s (1) = 899 mm s (0,7) = 1284 mm s (0,5) = 1798 mm | Blok D; s (1) = 777 mm s (0,7) = 1110 mm s (0,5) = 1554 mm | Blok E; s (1) = 801 mm s (0,7) = 1144 mm s (0,5) = 1602 mm |
| Blok F; s (1) = 683 mm, s (0,7) = 976 mm; s (0,5) = 1366 mm | | | | |
| Blok G; s (1) = 720 mm s (0,7) = 1029 mm s (0,5) = 1440 mm | Blok H; s (1) = 831 mm s (0,7) = 1187 mm s (0,5) = 1662 mm | Blok I; s (1) = 900 mm s (0,7) = 1286 mm s (0,5) = 1800 mm | Blok J; s (1) = 866 mm s (0,7) = 1237 mm s (0,5) = 1732 mm | Blok K; s = 812 mm s = 1160 mm s = 1624 mm |
| Jižní blok; s (1) = 669 mm, s (0,7) = 956 mm; s (0,5) = 1338 mm | | | | |

Obrázek 7.20 Vypočtená maximální dostatečná vzdálenost (mm) Varianty C pro jednotlivé bloky, kde čísla v závorkách označují koeficient k_m

Bloky A a K

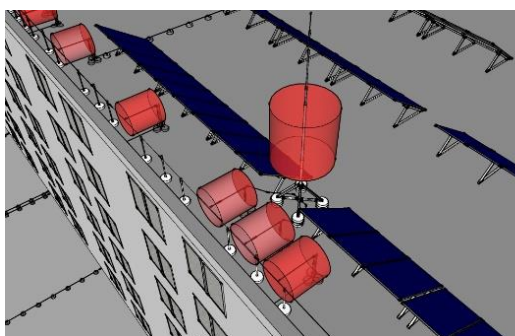
Pro dodržení dostatečné vzdálenosti v oblasti koncovky při napojení vodiče HVI na jímací tyč muselo být zhotoveno obvodové vedení, jak bylo zmíněno v části 7.3.1 této práce. Pro naplnění požadavků zadavatele bylo nutné, aby toto vedení bylo přerušeno a byl umožněn vstup osobám na tyto bloky. Bylo uvažováno, že vstup na střechu by byl zhotoven uprostřed stěny, tj. prostřední okno by bylo přestavěno na dveře. Odstraněním tohoto spojení v místě vstupu na střechu nedošlo k velké odchylce dostatečné vzdálenosti oproti původnímu návrhu a tento krok provést lze. Při přepočtu bylo zkoušeno, zda by vybraná spojení mohla být odstraněna i v ostatních částech objektu. Realizovaný výpočet v softwaru DEHNplan [26] ukázal, že nedojde k překročení dostatečné vzdálenosti v žádných částech. Z toho plyne, že pochozí mohou být všechny bloky.



Obrázek 7.21 Jímací soustava na bloku K: a) vyznačení oblasti koncovky (červený válec) a přerušené okružní vedení pro potenciální vstup na střechu, b) ochranný prostor nad blokem K

Bloky C a I

Při použití izolovaných hromosvodů není třeba významně upravovat rozmístění fotovoltaických panelů a instalovaný výkon by zůstal stejný, jak bylo zamýšleno před instalací vnějšího LPS, tedy 286 kWp. Pro zajímavost bylo však umístění upraveno. Tato úprava dokonce zvýšila instalovaný výkon na 294 kWp. Fotovoltaické panely podle Obrázek 7.22 nezasahují do žádných oblastí koncovek a jsou v ochranném prostoru jímací soustavy. Obecně by ale bylo na zvážení odborníka, zda má zvýšení výkonu smysl, řada panelů blíže k jihu by na obou blocích byla v zákrytu jímacích tyčí. Obvodové vedení je u obou bloků na dvou místech spojeno příčně vodičem HVI Power.



a)

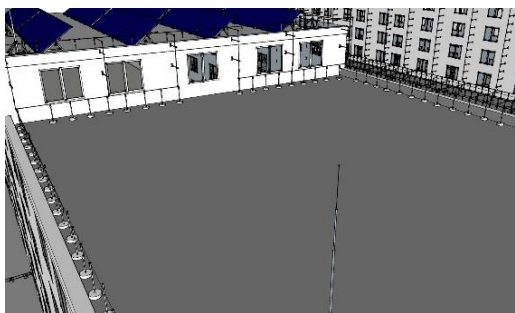


b)

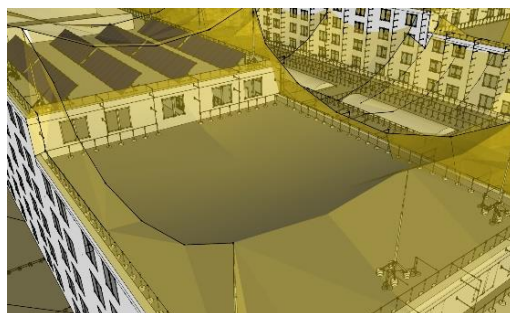
Obrázek 7.22 Dodržení oblasti koncovky: a) po úpravách rozmístění FVE, b) ochranný prostor nad blokem C a I

Bloky B, D, E, G, H, J

Ochrana těchto bloků je řešena identicky, jako v případě ochrany bloků A a K. Za zmínku stojí pouze možnost odstranění spoje zobrazeného na Obrázek 7.23 a) v místě současného okna, která umožní tyto střechy užívat jako pochozí. Obrázek 7.23 b) ukazuje ochranný prostor soustavou jímačů na blokem. Obdobně jsou řešeny zbývající bloky.



a)



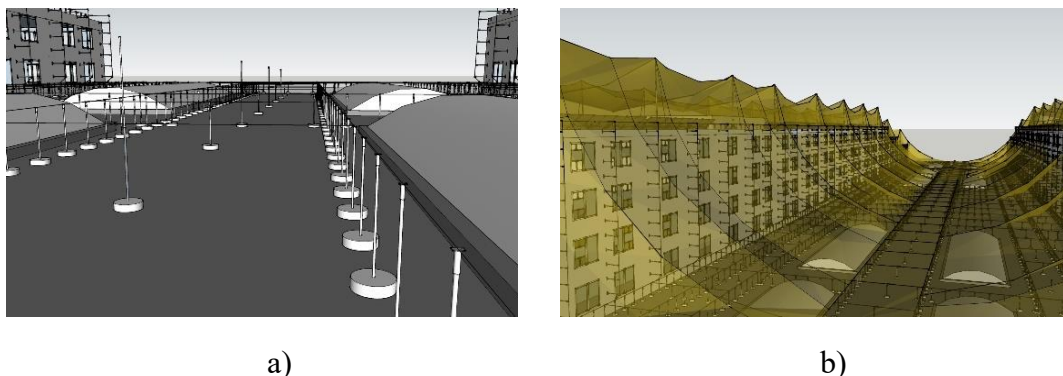
b)

Obrázek 7.23 Jímací soustava nad blokem J: a) odstraněný spoj umožňující vstup osobám, b) ochranný prostor nad blokem J

Blok F

K dodržení dostatečných vzdáleností v oblasti koncovek bylo zapotřebí zbudovat na bloku F mříž po celé ploše bloku. Rozměry ok mříže v některých místech překračují 5 m. Ačkoliv se toto rozvržení může zdát jako chybné, ochrana budovy zajištěna je (viz Obrázek 7.24 b)) protože na většině místech mříž neslouží přímo jako jímač, nýbrž je její funkcí rozdělit bleskový proud do několika paralelní cest a snížit tak dostatečnou vzdálenost. V místech střešních světlíků je pro jejich ochranu před přímým úderem blesku použito stejných izolovaných jímacích tyčí jako

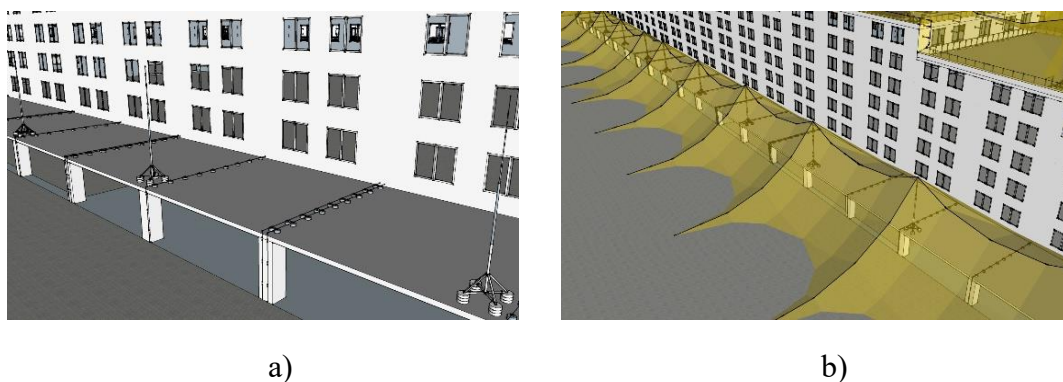
ve Variantě A zobrazených na Obrázek 7.24 a). Oproti zvětšeným okám ve střední části budovy jsou oka umístěná u podélných stěn objektu zhuštěna na rozměry $4,85 \times 3,3$ m. Na Obrázek 7.24 lze zpozorovat, že boky objektu chráněny nejsou – část fasády v jeho horní části prosvítá přes ochranný prostor, který je vyznačený žlutě. Jak již bylo zmíněno v části 7.1.2 této práce není v tomto případě dodatečná ochrana nutná, navíc by díky malým rozstupům mezi vnějšími svody nemělo dojít k protnutí valivé koule a stěn objektu. Tato simulace však nebyla modelována, a tudíž z ní není pořízen grafický výstup.



Obrázek 7.24 Ochrana bloku F: a) ochrana světlíků přidáním izolovaných jímacích tyčí, b) ochranný prostor bloku F

Severní a jižní blok

Ochrana před bleskem je na severním i jižním bloku tvořena stejnými jímacími tyčemi a vodiči HVI power obdobně, jako na předchozích blocích této Varianty C. Doplnění o kovový hromosvod není nutné, a to díky krátkým vzdálenostem mezi připojením vodiče HVI na jímací tyč a systém uzemnění. Představením navrženého ryze izolovaného hromosvodu a jeho ochranným prostorem je Obrázek 7.25. Konkrétně na Obrázek 7.25 a) jsou pak znázorněny i svody vedoucí z vyšších částí objektu, které mohou být ve svých svislých částech instalovány skrytě ve fasádě.



Obrázek 7.25 Ochrana severního a jižního bloku: a) část jímací soustavy na jižním bloku, b) ochrana severního a jižního bloku

7.3.2 Soustava svodů

Již bylo zmíněno, že po vnějším obvodě objektu lze díky použití vodičů HVI svody zapravit do fasády objektu. V tomto případě, i za předpokladu montáže svodů po fasádě, není potřeba dodatečné vypořádání s dotykovým napětím. Svody vedoucí z vyšších částí objektu na blok F jsou zhotoveny vodičem AlMgSi s průměrem 8 mm na distančních držácích zamezující přeskok na betonářskou ocel. Jinak řečeno, jsou tyto svody navrženy obdobně s Variantou A.

7.3.3 Zemnicí soustava

Pro minimalizaci nákladů za pořízení vysokonapěťových vodičů bylo uvažováno, že připojení těchto vodičů a soustavu uzemnění bude provedeno na úrovni terénu. Vzhledem k nutnosti vypořádání se s krokovými napětími se ideálně nabízí zbudovat uzemňovací soustavu po celém obvodě objektu, a to do vzdálenosti 3 m od připojení svodů na uzemnění. Dále pak dostatečně robustně tuto soustavu spojit se zemniči instalovaných v základových pásech. Při takovéto variantě již z pohledu krokových napětí není třeba apelovat na specifickou úpravu terénu v okolí objektu v podobě vrstvy asfaltu. Tento dodatek však není zahrnut v realizovaném rozpočtu Varianty C.

7.3.4 Seznam použitého materiálu

Rovněž i zde jsou vypisovány komponenty výrobce Dehn. Informace ohledně zmíněných součástí jsou čerpány z [10].

Část střech

Obvodové vedení je realizováno vodičem AlMgSi s průměrem 8 mm a katalogovým číslem (840 108) umístěným v distančních držácích DEHNiso délky 1015 mm s katalogovým číslem (106 175) a 17 kg betonových podstavců (102 340) obdobně jako ve Variantě A. I zde je na místě použití dilatačních propojek (374 011). Podpurná trubka pro HVI s dlouhou jímací tyčí (105 573) odolá rychlosti větru s instalací jednoho vodiče vně trubky do 144 km/h při použití 12 ks betonových podstavců o hmotnosti 17 kg [32]. Dále je použit vodič HVI Power s katalogovým číslem (819 137). Příčné propoje na blocích C a I je třeba opatřit střešním držákem vedení (253 334). Pro připojení vodiče HVI na obvodové vedení a dodržení oblasti koncovky je třeba vodič podepřít tříramenným stojanem s PA svorkou (105 468).

Část svodů

U izolovaných svodů by bylo v případě montáže na povrch fasády nutné použít držáky vedení např. 275 242. V případě skrytých svodů tento prvek odpadá. Kovové svody jsou tvořeny stejným drátem jako okružní vedení na střeších objektu. Distanční držák DEHNiso nástěnný v této variantě postačí s délkou 530 mm a izolační 445 mm (106090).

Část uzemnění

Na rozdíl od dvou předchozích variant zde bylo počítáno s rozšířením uzemňovací soustavy a pruh kolem objektu jednak pro zabránění úrazu elektrickým proudem v důsledku krokových napětí a jednak pro zkrácení potřebného množství vysokonapěťových vodičů. To do rozpočtu zanese větší náklady na zbudování uzemnění, ale použité komponenty budou totožné.

Zhodnocení

Tato Varianta C je z ekonomického hlediska nejméně schůdná. Na základě rozpočtu, který je součástí Příloha F -, lze ale upozornit, že položkami výrazně se projevujícími jsou distanční držáky a betonové podstavce. Pakliže by šla tato Varianta C zhotovit pouze pomocí komponent HVI, celková cena materiálu by mohla klesnout, rovněž i cena za montáž. Dále je třeba brát v úvahu montáž vysokonapěťového vodiče podle ceníku. Při porovnání s instalací kovového vodiče je cena za instalaci 1 m vodiče HVI přibližně 4 × dražší. Kovový vodič se před instalací musí poměrně dlouze a pracně rovnat, zatímco srovnání vodiče HVI a jeho instalace je z časového hlediska výrazně rychlejší. Z toho vyplývá, že za položení těchto dvou typů vodičů by se mohla účtovat podobná cena. Obrovskou výhodou je ale téměř bezkolizní syntéza s FVE. Další výhodou je možnost používání všech bloků s výjimkou bloku F například jako odpočinkové zóny pro uživatele objektu, protože lze LPS zhotovit takovým způsobem, aby byly pochozí. Dále zde není potřeba dodatečných opatření pro zabránění úrazů vlivem dotykových napětí. Estetika provedení je díky rozměrům objektu a zařazení do LPS 1 narušena mřížovou soustavou na bloku F a vodiči vedoucí z tohoto bloku na vyšší části objektu.

8. ZÁVĚR

Jedním z cílů práce bylo provedení komplexní rešerše současných platných norem a legislativních dokumentů, týkajících se problematiky ochrany budovy před úderem blesku a přepětím včetně případu, kdy na budovu byla instalovaná fotovoltaická elektrárna. Cílem bylo zejména seznámit se základními technickými požadavky a nároky pro samotný návrh korektního technického řešení plynoucích z takto provedené rešerše. Přehled technických požadavků a nároků jsou součástí kapitol 2, 3, 4 této práce. Při rešerši bylo čerpáno zejména z druhé edice norem řady ČSN EN 62 305 [1], [2], [3], [4], jejichž obsahem je právě zmiňovaná ochrana před bleskem. Dále bylo shledáno rozporu mezi normou na fotovoltaické systémy [15] a normou popisující ochranné vodiče [8], kde byla uvedena rozdílná hodnota průřezu vodiče zajišťující uvedení na společný potenciál. Z této části není jiných, výhradně teoretických závěrů.

Chráněný objekt, podrobně popsán v kapitole 5 této práce, se nachází v blízkosti města Brna. Půdorysné rozměry objektu jsou 192×81 m, dále jsou pak na podélných stěnách 9 m široké přístřešky. Objekt s multifunkčním užitím disponuje nákupním centrem, administrativní částí i částí určenou pro privátní bydlení. Pro tyto účely je vyhrazeno 6 nadzemních podlaží. Součástí řešení bylo taktéž provedení výpočtu analýzy rizik, které je nezbytné pro posouzení rizik a do jaké míry je třeba objekt chránit, tzn. jaká opatření je třeba učinit, aby bylo minimalizováno množství škod. Tyto požadavky plynou z provedené rešerše v části 2.1 této práce. Na základě zadaných či vypočítaných parametrů bylo provedeno zařazení objektu do systému třídy ochrany před bleskem LPS 1, společně s hladinou LPL I. Pro snížení rizika R_1 pod přípustnou mez musí být na hranici zón LPZ0_B a LPZ1 instalována přepěťová ochrana zajišťující minimálně hladinu LPL 3 nebo 4. Jiná opatření nejsou díky stínění objektu a automatickým hasicím stanicím nezbytně nutná, neboť jejich instalace snižuje riziko úrazu živých bytostí už jen minimálně. Použitými opatřeními došlo i ke snížení rizik R_2 a R_3 pod přípustnou hranici rizika.

Dále byl vyhotoven návrh umístění fotovoltaických panelů na střešní konstrukci s instalovaným výkonem 287 kWp. Předmětem práce však nebyla instalace FVE, nýbrž její ochrana před úderem blesku. Navržené rozmístění bylo pouze na základě stínů atiky a protihlukových stěn uvažované technologie vzduchotechniky v různých ročních obdobích. V příloze A.2 lze pozorovat pouze částečné zastínění některých panelů, a to pouze těsně po východu a těsně před západem Slunce. Rozložení panelů se oproti původnímu návrhu i mezi jednotlivými variantami v práci mění, a to z důvodu kolize s jímací soustavou hromosvodu, zejména pak s nutností dodržet dostatečnou vzdálenost.

Hlavním, svým způsobem praktickým cílem práce, bylo zpracování tří různých technických řešení vnější ochrany před bleskem a jejich zhodnocení po stránce

technické spolehlivosti, dopadu na estetiku a po stránce ekonomické. V práci byly proto zpracovány tři varianty (Varianta A, Varianta B a Varianta C) provedení vnější ochrany před bleskem.

Varianta A měla být provedena jako izolovaný hromosvod využívající pro jímání blesků metodu mřížové soustavy na střeše objektu, připojena na systém uzemnění pomocí kovových svodů. Na blocích opatřených technologií FVE docházelo ke kolizi systému FVE a vnější ochranou před bleskem, proto muselo být rozmístění fotovoltaických panelů pozměněno a jejich počet musel být snížen tak, aby nemohlo dojít k přeskočení bleskového proudu na jejich konstrukci. Taková aplikace je za předpokladu správně provedené montáže bezpečná. Nelze však vyloučit, že osoba neznalá do blízkosti LPS umístí např. komunikační zařízení a nedodrží dostatečnou vzdálenost s . V takovém případě dojde ke znehodnocení izolovaného hromosvodu a proniknutí části bleskového proudu do budovy přes komunikační metalické vedení. Z toho vyplývá, že z pohledu odolnosti vůči neúmyslnému znehodnocení LPS není dokonalá. Dalšími nevýhodami je jednak nemožnost použití střech neosazených FVE pro shromažďování osob mimo bloky, které jsou k tomu prvoplánově určeny, dále pak estetickým dopadem. Na základě zhotoveného rozpočtu je však nutné konstatovat, že i přes velké množství materiálu a náročnosti práce vychází tato varianta v porovnání s Variantou B a Variantou C nejlevněji. Konkrétní náklady na použitý materiál jsou v případě Varianty A 12 130 284,90 Kč a náklady za provedení montáže jsou 3 329 406,10 Kč. Celková částka na realizaci Varianty A je 15 459 691,00 Kč.

Varianta B, využívající jako soustavu svodů ocelový skelet stavby, potažmo pak přídatné vedení FeZn o průměru 10 mm instalované společně s betonářskou ocelí, minimalizuje množství distančních držáků na minimum. Vzhledem ke skutečnosti, že vyrovnání potenciálů je provedeno v nejvyšších patrech jednotlivých bloků objektu, pak dostatečná vzdálenost vychází výrazně nižší oproti Variantě A. Tento rozdíl umožňuje zvětšení ok mřížové soustavy v místech, kde je ochrana před přímým úderem blesku zajištěna pomocí jímacích tyčí a zachovat tak instalovaný výkon FVE. Syntéza FVE a LPS je sice snazší, přesto je třeba dodržet dostatečnou vzdálenost s , tj. původní rozmístění fotovoltaických panelů upravit. Výhodou spojení jímací soustavy na ocelový skelet stavby je minimální estetický dopad. Podle technických norem [3] je přípustné přiblížení LPS a betonářské oceli na vzdálenosti, které jsou nižší než je dostatečná vzdálenost s v daném místě. Jelikož dostatečná vzdálenost jinými slovy vyjadřuje elektrickou pevnost daného prostředí, která ještě odolá působení potenciálu atmosférického výboje, mohlo by při nedodržení tohoto oddálení dojít k přeskočení bleskového proudu na tyto části. Betonářská ocel, potažmo pak přídatné vedení FeZn, je sice ve Variantě B určená pro svádění bleskového proudu, vlastní přeskočení by však mohlo způsobit hmotné škody na střešním plášti. V práci je možnost přiblížení využita pro větší kontrast mezi zpracovávanými

variantami. Po stránce ekonomické se může jevit, že délky vodičů a jeho spojování vedeného společně s betonářskou ocelí se výrazně projeví na ceně materiálu, překvapivě jsou ale celkové náklady na materiál ve Variantě A i B srovnatelné (materiál Varianty B je oproti materiálu Varianty A dražší o méně jak 1 %). Zmíněné je díky nižším dostatečným vzdálenostem a tím pádem požadavkem na menší množství hromosvodového vodiče AlMgSi průměru 8 mm na úrovni jímací soustavy. K redukci došlo v místech, kde je pro vytvoření ochranného prostoru použito jímacích tyčí, a tudíž není nutné dodržet rozměry ok pro LPS 1 do 5 m. Oproti tomu se cena za montáž kvůli instalaci více jak 6000 svorek a 40 km vodiče z důvodu dokonalého propojení ocelového armování a celistvosti svodů k zemnicí soustavě zvedne přibližně na dvojnásobek. Celkové náklady na zbudování LPS ve Variantě B převyšují Variantu A přibližně o 22 %.

U Varianty C je při syntéze LPS s FVE nejméně kolizí. Původní rozmístění panelů by mohlo být zachováno s výjimkou několika málo vybraných panelů. V práci však bylo uspořádání pozměněno, přičemž bylo zjištěno, že instalovaný výkon FVE by se mohl ještě zvýšit. Toto řešení je možné díky tomu, že vytvořený hromosvod je zhotovený takovým způsobem, že nezasahuje do prostoru střechy, nýbrž se vyskytuje zejména po jejím obvodu. Další obrovskou výhodou je možnost využití bloků s výjimkou bloku F na libovolné účely. Jediným omezením je nutnost dodržení oblasti koncovky vysokonapětového vodiče HVI. Vzhledem k rozměrům objektu však tyto pozice zaujímají jen pár procent celkově využitelné plochy. Na obvodovém zdivu svody mohou být provedeny jako skryté, na částech střech z hlediska estetiky tento návrh nepůsobí rušivě. Esteticky rušivé provedení je pouze na bloku F. Po stránce finanční je tato varianta nejméně příznivá, zejména pak cena materiálu, která převyšuje ostatní varianty přibližně o 50 %. Cena za provedení montáže je podle výpočtů na základě databázi podobná s Variantou A. Celkové náklady na zbudování LPS ve Variantě C převyšují Variantu A přibližně o 40 %. Prakticky by však cena za instalaci vodiče HVI mohla být srovnatelná s instalací vodiče AlMgSi (pakliže by se nevycházelo z tabulek, nýbrž z hodinové sazby montéra). Jeho hmotnost je sice vyšší a je třeba být při montáži opatrnější, aby nedošlo k poškození izolace, na druhou stranu je rovnání vodiče HVI rychlejší. Za takového předpokladu by cena za montáž Varianty C mohla být ze všech variant nejlevnější.

Na základě předchozího zhodnocení zpracovaných variant lze poskytnout následující doporučení. Pakliže by bylo zhotovení LPS cílem rekonstrukce nebo instalace na již postaveném objektu, nabízí se realizace Varianty A nebo Varianty C. Varianta A je z ekonomického hlediska sice méně nákladná, ale z estetického hlediska, nemožnosti využití střešní konstrukce k žádným jiným účelům, nemožnosti úpravy rozložení panelů FVE a vyčnívajícím svodům přístupným veřejnosti se jeví jako méně vhodná. Z toho plyne, že právě díky účelu využití objektu by byla

vhodnější varianta C i přesto, že je přibližně o zmíněných 40 % dražší. V opačném případě, kdy by byl objekt teprve předmětem budoucí výstavby jsou k dispozici všechny tři zpracované varianty. Nevýhody Varianty A byly zmíněny, nabízí se spíše Varianta B nebo Varianta C. Bylo by tedy na zvážení majitele objektu, zda raději investovat do nákladnější varianty a mít k dispozici obrovské plochy na střeše objektu pro různé účely, nebo zvolit levnější způsob (tzn. připravit se o jinak využitelné plochy střechy) a ušetřené investiční prostředky využít jiným způsobem. Toto rozhodnutí by dále mělo pozitivní dopad i na již předpřipravenou vnitřní ochranu před bleskem, tzn. úsporu finančních prostředků při uvádění neživých částí na společný potenciál. Viditelnější porovnání zpracovaných variant poskytne Tabulka 8-1.

Tabulka 8-1 Grafické zhodnocení zpracovaných variant

| | Varianta A | Varianta B | Varianta C |
|--|----------------------------|---|---------------------------------|
| Celková částka za materiál (Kč) | 12 130 284,90 | 12 233 975,99 | 18 041 234,99 |
| Celková částka za montáž (Kč) | 3 329 306,10 | 6 680 653,00 | 3 532 571,79 |
| Celková částka (Kč) | 15 459 691,00 | 18 914 628,99 | 21 573 571,79 |
| Estetika | Rušivé provedení | LPS viditelný pouze na střeše | Rušivá pouze podepřená část LPS |
| Praktičnost/spojení s jinými systémy (FVE, komunikace) | Zapotřebí plánovat dopředu | Zapotřebí plánování dopředu a dokonalá součinnost se stavební činností po celou dobu výstavby objektu | Minimalizace kolizí |

BIBLIOGRAFIE

- [1] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ [ÚNMZ]. ČSN EN 62305-1 ed.2, *Ochrana před bleskem – Část 1: Obecné principy*. Online. 2. Praha, 2011. Dostupné z: ČSN online. [cit. 2023-10-26].
- [2] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ [ÚNMZ]. ČSN EN 62305-2 ed.2, *Ochrana před bleskem – Část 2: Řízení rizika*. Online. 2. 2. Praha, 2013. Dostupné z: ČSN online. [cit. 2023-10-26].
- [3] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ [ÚNMZ]. ČSN EN 62305-3 ed.2, *Ochrana před bleskem – Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života*. Online. 3. Ed.2. Praha, 2012. Dostupné z: ČSN online. [cit. 2023-10-26].
- [4] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ [ÚNMZ]. ČSN EN 62305-4 ed.2, *Ochrana před bleskem – Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách*. Online. 4. Ed. 2. Praha, 2011. Dostupné z: ČSN online. [cit. 2023-10-26].
- [5] BURANT, Jiří. *Blesk a přepětí: Systémová řešení ochran*. Praha: FCC Public, 2006. ISBN 80-86534-10-3.
- [6] DEHN, SE. *DEHNsupport*. [Software]. 3.260.03. Praha, 2007.
- [7] HÁJEK, Jan a ŠALANSKÝ, Dalibor. *První elektronická knižka o ochraně před bleskem*. Online. Druhé. FCC Public, 2008. Dostupné z: http://www.kniska.eu/kniska/kniska_2.1. [cit. 2023-10-26].
- [8] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ [ÚNMZ]. ČSN 33 2000-5-54, *Elektrická instalace nízkého napětí – Část 5–54: Výběr a stavba elektrických zařízení – Uzemnění a ochranné vodiče*. 3. Praha: Úřad pro technologickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. [cit. 2023-11-24].
- [9] HÁJEK, Jan. *Izolované hromosvody rychle a jednoduše za pomoci vodičů HVI již patnáct let*. Online. ELEKTRO odborný časopis pro elektrotechniku. Praha: FCC Public s. r. o, srpen 2018, s. 104. ISSN 1210-0889. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/clanek/izolovane-hromosvody-rychle-a-jednoduse-za-pomoci-vodicu-hvi-jiz-patnact-let--3168>. [cit. 2023-12-08].
- [10] SE DEHN. *Katalog hromosvodních součástí*. Online. 2017. Dostupné z: https://www.dehn.cz/sites/default/files/media/files/katalog_hromosvody_2017_0.pdf. [cit. 2024-05-01].
- [11] ROUS, Zdeněk. *Řešení důležitého problému ochrany před bleskem*. Online. FCC Public. 2004. Dostupné z:

- <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/reseni-duleziteho-problemu-ochrany-pred-bleskem--14106>. [cit. 2023-12-08].
- [12] DEHN S.R.O. *Brožura HVI*. Online. 2023. Dostupné také z: <https://www.dehn.cz/cs/ceske-dokumenty-k-vyrobkum>.
- [13] SALTEK. *Napájecí sítě NN: Ochrana před přepětím*. 4. vydání. 2023.
- [14] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNI ZKUŠEBNICTVÍ [ÚNMZ]. ČSN 33 2000-4-443, *Bezpečnost – Ochrana před rušivým napětím a elektromagnetickým rušením – Kapitola 443: Ochrana před atmosférickým nebo spínacím přepětím*. 3. Praha: Úřad pro technologickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016. Dostupné z: ČSN online. [cit. 2023-11-24].
- [15] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNI ZKUŠEBNICTVÍ [ÚNMZ]. ČSN 33 2000-7-712, *Elektrická instalace nízkého napětí – Část 7–712: Zařízení jednofázová a ve zvláštních objektech – Fotovoltaické (PV) systémy*. Ed. 2. Praha: Úřad pro technologickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016. [cit. 2023-11-24].
- [16] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNI ZKUŠEBNICTVÍ [ÚNMZ]. ČSN EN 50618, *Elektrické kabely pro fotovoltaické systémy*. Praha: Úřad pro technologickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015. [cit. 2023-11-24].
- [17] Sbírka zákonů: Sbírka zákonů 2023. In: . Tiskárna Ministerstva vnitra, 2023, částka 61. ISSN 1211-1244. [cit. 2023-12-04].
- [18] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNI ZKUŠEBNICTVÍ [ÚNMZ]. ČSN 33 2000-4-41, *Elektrická instalace nízkého napětí – Část 4–41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti – Ochrana před úrazem elektrickým proudem*. 3. Praha: Úřad pro technologickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. [cit. 2023-11-27].
- [19] HASELHUHN, Ralf a NOSÍK, Václav. *Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [20] MASTNÝ, Petr; DRÁPELA, Jiří; MIŠÁK, Stanislav; MACHÁČEK, Jan; BARTOŠÍK, Tomáš et al. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [21] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNI ZKUŠEBNICTVÍ [ÚNMZ]. ČSN 73 0810, *Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení*. Praha: Úřad pro technologickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [22] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNI ZKUŠEBNICTVÍ [ÚNMZ]. ČSN EN 15882-3, *Rozšířená aplikace výsledků zkoušek požární odolnosti provozních instalací – Část 3: Těsnění prostupů*. Praha: Úřad pro technologickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

- [23] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN 73 0872, *Požární bezpečnost staveb – Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením*. Praha: Český normalizační institut, 1995.
- [24] TZB-INFO. *Vybrané požárně technické charakteristiky stavebních výrobků a hmot*. Online. TZB-info. 2016. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13649-vybrane-pozarne-technicke-charakteristiky-stavebnich-vyrobku-a-hmot>. [cit. 2023-12-13].
- [25] AKADEMIE VĚD ČESKÉ REPUBLIKY. *Extrémní rychlosti větru*. Online. 2016. Dostupné z: <http://vitr.ufa.cas.cz/extremni-vitr/>. [cit. 2024-04-09].
- [26] DEHN, SE. *DEHNplan*. [Software]. 2024.
- [27] SE DEHN. *Návod k montáži: Stojan se třemi a čtyřmi nohama*. Online. 2023. Dostupné z: https://www.dehn.cz/store/f/42612000/EBA/2108_18S_1223_3025668_Niro-Stativ_WEB.pdf. [cit. 2024-05-05].
- [28] OBO BETTERMANN S.R.O. *Vnější ochrana před bleskem*. Online. 2023. Dostupné z: https://www.obo.cz/fileadmin/DMS/Produktkataloge/Schutz/Aeusserer_Blitzschutz_CZ.pdf. [cit. 2024-04-09].
- [29] TREMIS S.R.O. *Součásti pro hromosvody a uzemnění*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.tremis.cz/katalog-vyrobku/>. [cit. 2024-04-09].
- [30] *Svařování betonářské výztuže a jiné typy spojů*. Online. Praha: Ministerstvo dopravy, 2008. ISBN 978-80-904172-0-5. Dostupné z: https://pjpk.rsd.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_193.pdf. [cit. 2024-04-01].
- [31] SE DEHN. *Leták snadný výběr vodičů HVI*. Online. 2023. Dostupné z: https://www.dehn.cz/sites/default/files/media/files/letak_snadny_vyber_vodicu_hvi_2023.pdf. [cit. 2024-04-29].
- [32] SE DEHN. *Montážní návod HVI power*. Online. 2024. Dostupné z: https://www.dehn.cz/store/f/42083999/EBA/1829_18S_0424_3021445_HVI%20power_WEB.pdf. [cit. 2024-05-02].
- [33] SE DEHN. *Ceník Dehn*. Online. 2023. Dostupné z: https://www.dehn.cz/sites/default/files/media/files/projekt_cenik_dehn_od_1.7.2023.pdf. [cit. 2024-04-01].
- [34] RTS A.S. *Ceníky prací*. Online. 2015, 2024. Dostupné z: <https://rtscloud.cz/App/RTS-Data/PRA128855>. [cit. 2024-04-01].

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Zkratka | Význam |
|----------------------|--|
| Al | hliníkové jádro vodiče (z lat. aluminium) |
| Cu | měděné jádro vodiče (z lat. cuprum) |
| D1 – D3 | typy poškození |
| DC | stejnoseměrný proud (z angl. direct current) |
| FeZn | pozinkovaná ocel (z lat. ferrum zincum) |
| FVE | fotovoltaická elektrárna |
| HVI | vodič s vysokonapětovou izolací (z angl. High Voltage Isolation) |
| L1 – L4 | typy ztrát |
| LEMP | elektromagnetický impulz vyvolaný bleskem (z angl. Lightning Electromagnetic Impulse) |
| LPL | hladina ochrany před bleskem (z angl. Lightning Protection Level) |
| LPS | systém ochrany před bleskem (z angl. Lightning Protection System) |
| LPZ | zóna ochrany před bleskem (z angl. Lightning Protection Zone) |
| PVC | PolyVinylChlorid |
| R ₁ | riziko ztrát na lidských životech nebo trvalé zranění |
| R ₂ | riziko ztrát na veřejných službách |
| R ₃ | riziko ztrát na kulturním dědictví |
| R ₄ | riziko ztrát ekonomických hodnot |
| R _A | součást rizika – úraz živých bytostí – údery do stavby |
| R _B | součást rizika – hmotná škoda na stavbě – údery do stavby |
| R _C | součást rizika – porucha vnitřních systémů – údery do stavby |
| R _M | součást rizika – porucha vnitřních systémů – údery v blízkosti stavby |
| R _T | přípustné riziko |
| R _U | součást rizika – úraz živých bytostí – údery do připojeného vedení |
| R _V | součást rizika – hmotná škoda na stavbě – údery do připojeného vedení |
| R _W | součást rizika – porucha vnitřních systémů – údery do připojeného vedení |
| R _Z | součást rizika – porucha vnitřních systémů – údery v blízkosti připojeného vedení |
| S1 – S4 | příčiny a typy poškození staveb |
| SPD | přepětové ochranné zařízení (z angl. Surge Protection Device) |
| SPM | ochranná opatření proti LEMP (z angl. LEMP protection measures) |
| TN-S | síť s uzemněným uzlem zdroje, kde je ochranný a střední vodič rozdělený (z angl. Terra Neutral–separate) |
| L1, L2, L3, N, PE | označení fázových, nulového a ochranného vodiče sítě TN-S |

Symbols:

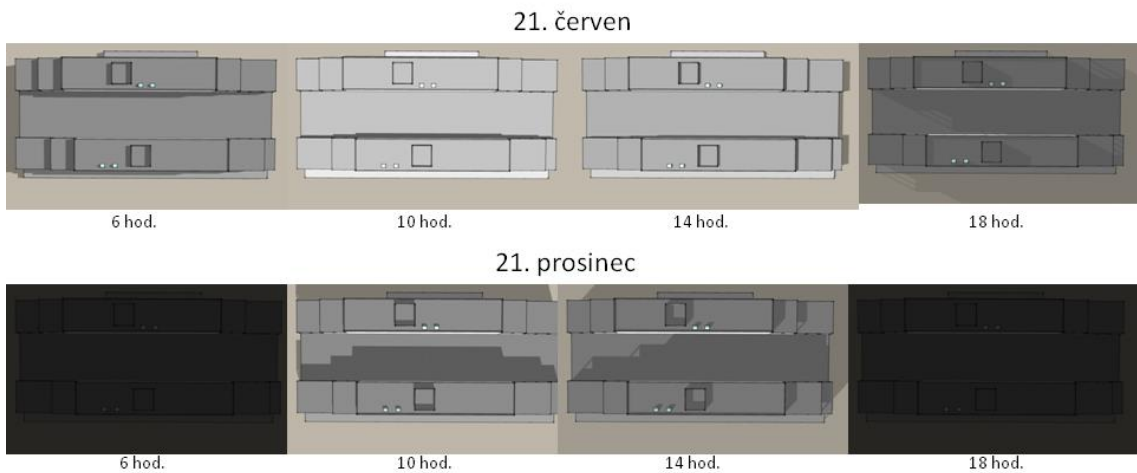
| | | |
|-------------|---|---------------------------------------|
| A_D | sběrná oblast osamocené stavby | (m ²) |
| A_I | sběrná oblast úderů do země v blízkosti sítě | (m ²) |
| A_L | sběrná oblast úderů zasahujících vedení | (m ²) |
| A_M | sběrná oblast | (m ²) |
| C_D | činitel polohy stavby | (norma neuvádí) |
| C_E | činitel prostředí | (norma neuvádí) |
| C_I | činitel instalace | (norma neuvádí) |
| C_{LD} | činitel závislý na stínění, uzemnění a podmínkách izolování vedení | (norma neuvádí) |
| C_{LI} | činitel závislý na stínění, uzemnění a podmínkách izolování vedení | (norma neuvádí) |
| C_T | činitel typu vedení | (norma neuvádí) |
| I | proud | (A) |
| k_c | koeficient závislý na dělení bleskového proudu | (-) |
| k_i | koeficient závislý na třídě LPS | (-) |
| k_m | koeficient závislý na materiálu izolace | (-) |
| K_{SI} | zohledňuje účinnost stínění stavby | (norma neuvádí) |
| l | vzdálenost vedení mezi měřícím bodem a bodem ekvipotenciálního pospojování | (m) |
| L_F | typický střední relativní počet obětí způsobených hmotnou škodou D2 | (norma neuvádí) |
| L_O | typický střední relativní počet obětí způsobených poruchou vnitřních systémů D3 | (norma neuvádí) |
| L_T | typický střední relativní počet obětí úrazu elektrickým proudem D1 | (norma neuvádí) |
| N_G | hustota úderů blesku do země | (rok ⁻¹ km ⁻²) |
| P_B | závisí na hladině ochrany před bleskem LPL | (norma neuvádí) |
| P_{SPD} | závisí na koordinovaném systému SPD | (norma neuvádí) |
| P_{TA} | závisí na doplňujících ochranných opatřeních | (norma neuvádí) |
| Q_{flash} | náboj blesku | (C) |
| Q_{short} | impulzní výboj | (C) |
| s | dostatečná (přeskoková) vzdálenost | (m) |
| T_D | počet bouřkových dnů za rok | (rok ⁻¹) |
| W/R | specifická energie za celou dobu trvání blesku | (MJ/Ω) |

SEZNAM PŘÍLOH

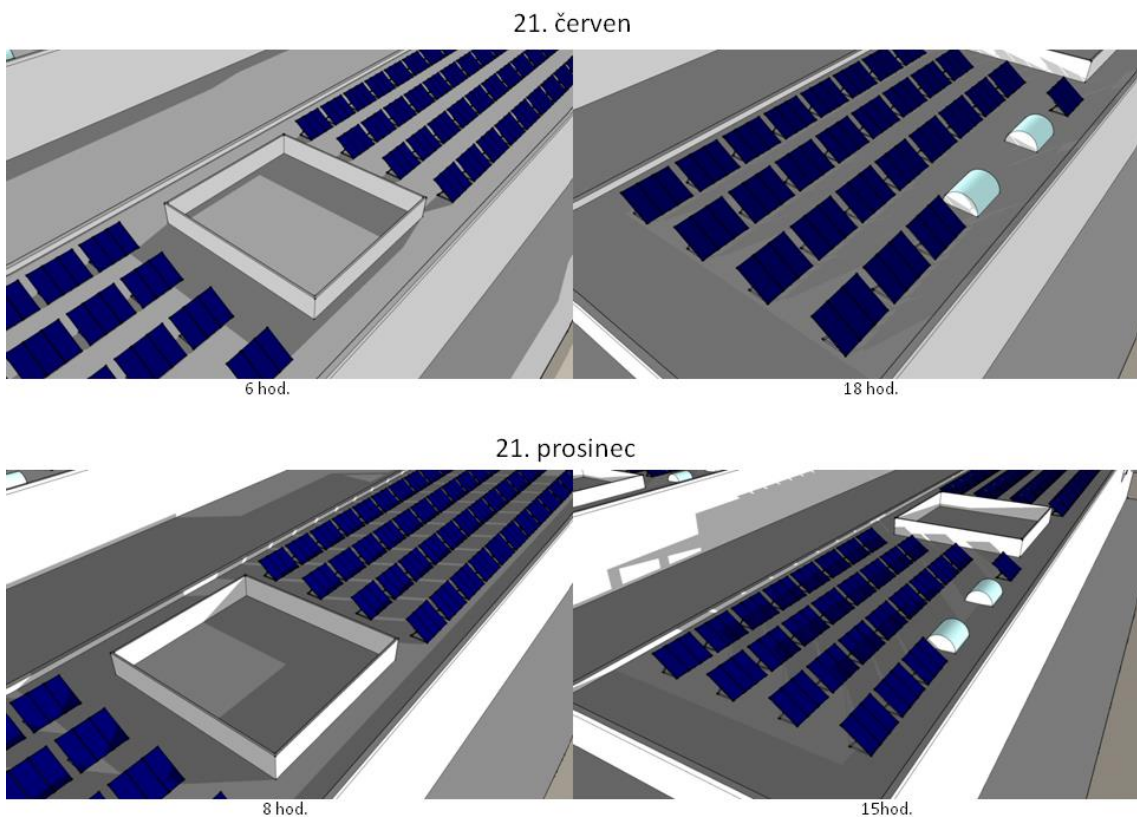
| | |
|---|-----------|
| PŘÍLOHA A - NÁVRH ROZMÍSTĚNÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ | 69 |
| PŘÍLOHA B - ROZPOČET VARIANTY A | 70 |
| PŘÍLOHA C - GRAFICKÉ ZPRAVOVÁNÍ VNĚJŠÍHO LPS VARIANTY A – STÍNY PO VÝCHODU A PŘED ZÁPADEM SLUNCE | 72 |
| PŘÍLOHA D - ROZPOČET VARIANTY B | 74 |
| PŘÍLOHA E - GRAFICKÉ ZPRAVOVÁNÍ VNĚJŠÍHO LPS VARIANTY B – STÍNY PO VÝCHODU A PŘED ZÁPADEM SLUNCE | 76 |
| PŘÍLOHA F - ROZPOČET VARIANTY C | 77 |
| PŘÍLOHA G - GRAFICKÉ ZPRAVOVÁNÍ VNĚJŠÍHO LPS VARIANTY C – STÍNY PO VÝCHODU A PŘED ZÁPADEM SLUNCE | 80 |

Příloha A - Návrh rozmístění fotovoltaických panelů

A.1 Stíny na střеше objektu (sever nahoře)



A.2 Zastínění panelů v různých obdobích (sever v levém horním rohu)



Příloha B - Rozpočet Varianty A

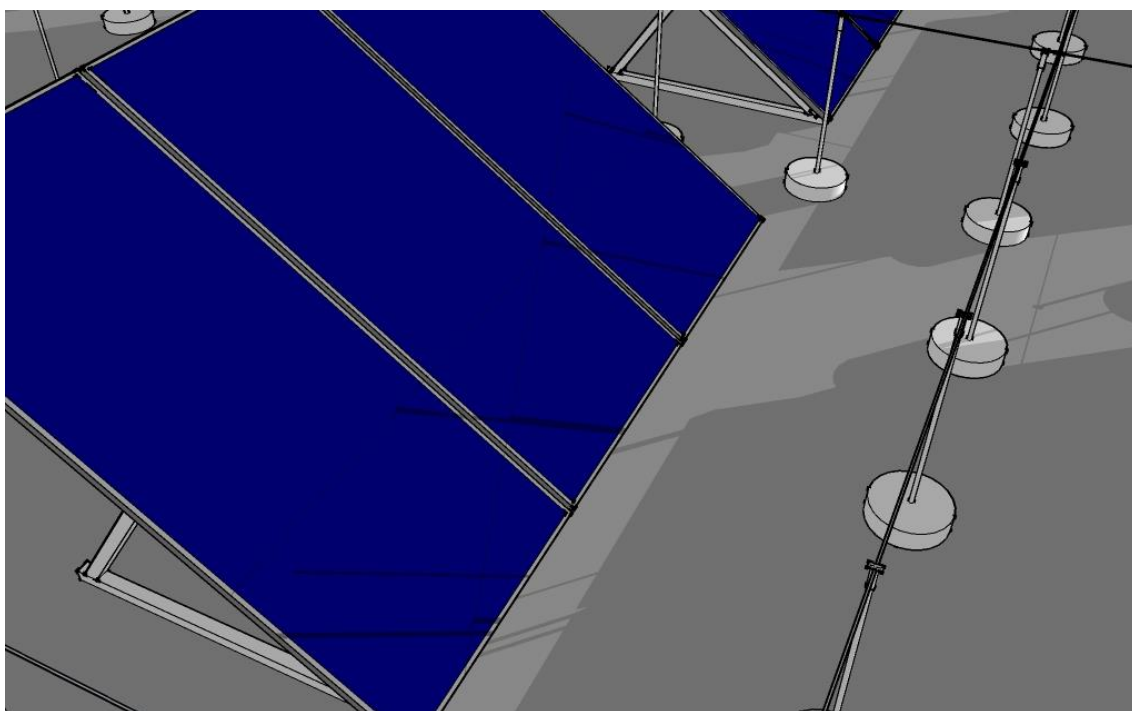
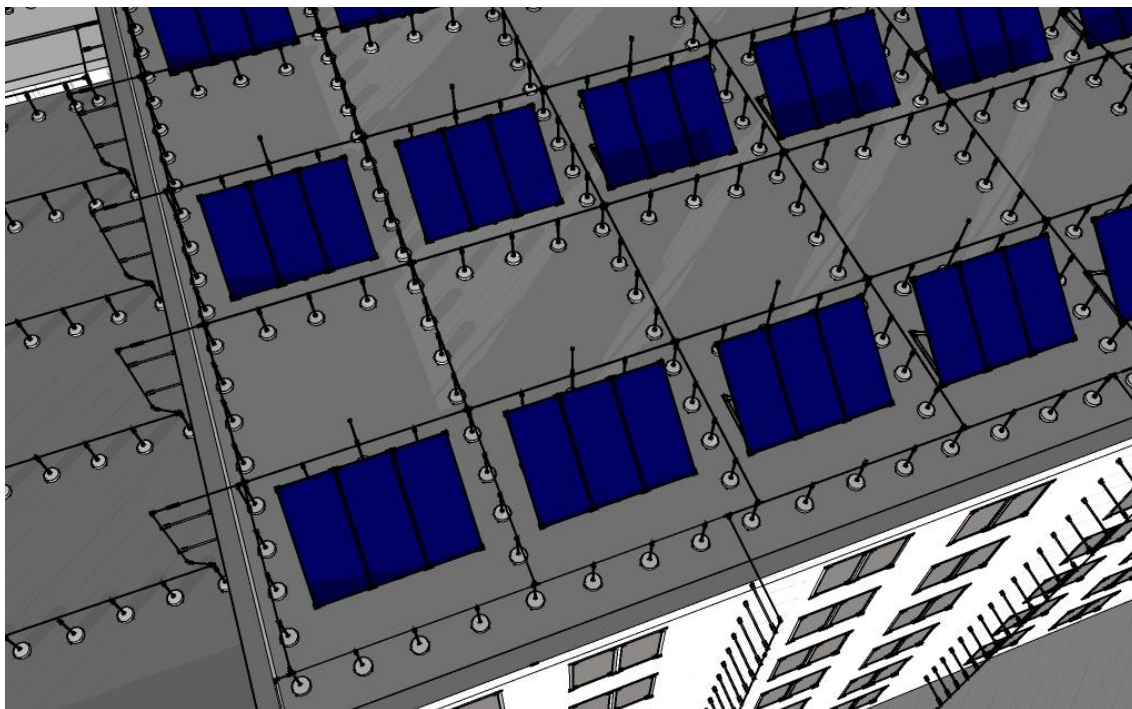
Uvedené ceny nezahrnují DPH. Cena za materiál vychází z [33], cena za montáž dostupná na [34].

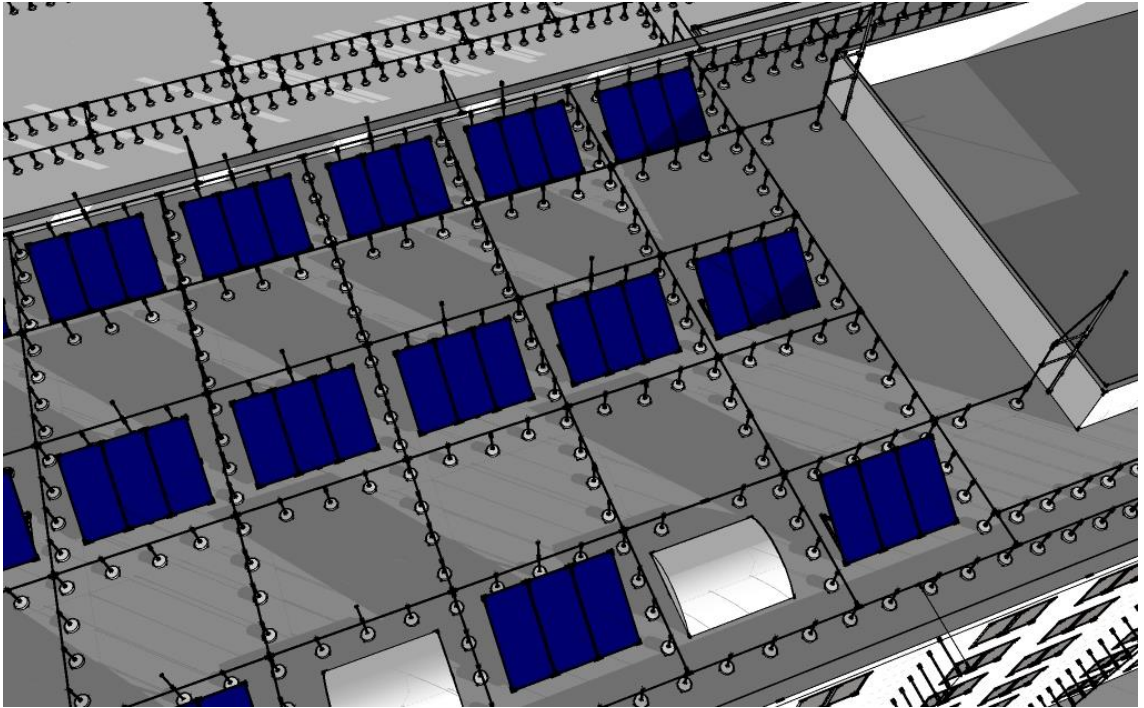
| | Seznam materiálu | Objednávací číslo | Počet | Jednotka (ks/kg/m) | Cena za jedn. (Kč) (projektová cena) | Celková cena (Kč) |
|--------------|--|-------------------|-------|--------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Jímač | | | | | | |
| 1 | AlMgSi 8 mm polotvrdý (hromosvodový vodič) | 840 108 | 1067 | kg | 152,60 | 162 747,90 |
| 2 | Betonový podstavec 17 kg pro stojan | 102 012 | 16 | ks | 376,30 | 6 020,80 |
| 3 | Betonový podstavec 17 kg pro jímací tyč | 102 340 | 5911 | ks | 527,10 | 3 115 688,10 |
| 4 | Dilatační propojka | 374 011 | 194 | ks | 100,60 | 19 516,40 |
| 5 | Distanční držák DEHNiso (1015 mm) | 106 175 | 5697 | ks | 811,50 | 4 623 115,50 |
| 6 | Jímací tyč (1000 mm) | 101 000 | 18 | ks | 149,10 | 2 683,80 |
| 7 | Jímací tyč FS GFK/Al (2000 mm) | 106 210 | 107 | ks | 945,00 | 101 115,00 |
| 8 | Sestava DEHNiso-Combi (4200 mm) | 105 440 | 4 | ks | 9 811,00 | 39 244,00 |
| 9 | Sestava DEHNiso-Combi (5700 mm) | 105 455 | 8 | ks | 13 832,10 | 110 656,80 |
| 10 | Stojan čtyřramenný pro jímací tyče | 107 491 | 4 | ks | 27 275,80 | 109 103,20 |
| 11 | Univerzální svorka | 315 119 | 900 | ks | 157,80 | 142 020,00 |
| Svody | | | | | | |
| 12 | Distanční držák DEHNiso nástěnný (1032 mm) | 106 105 | 1300 | ks | 1 236,30č | 1 607 190,00 |
| 13 | Distanční držák DEHNiso nástěnný (530 mm) | 106 090 | 180 | ks | 901,70 | 162 306,00 |
| 14 | Drát FeZn s průměrem 10 mm | 800 310 | 600 | m | 218,50 | 81 282,00 |
| 15 | Krabice pro zkušební svorku | 476 055 | 60 | ks | 2 224,70 | 133 482,00 |
| 16 | Křížová svorka pro drát a pásek | 321 045 | 120 | ks | 230,60 | 27 672,00 |
| 17 | Označovací štítek svodu | 490000 – 490009 | 111 | ks | 10,40 | 1 154,40 |
| 18 | Zkušební svorka | 459 003 | 60 | ks | 161,30 | 9 678,00 |

| Zemnění | | | | | | |
|---|---|---------|------|----|-------------------|--------------------------|
| 19 | Křížová svorka pro 2 pásy | 318 033 | 546 | ks | 133,50 | 72 891,00 |
| 20 | Zemnicí pás | 810 304 | 5300 | m | 293,00 | 1 552 900,00 |
| Celková částka za materiál | | | | | | 12 130 284,90 Kč |
| Ocenění montáže | | | | | Kč/m Kč/ks | Celková cena (Kč) |
| 1 | Montáž dilatační propojky | | | | 114,50 | 22 213,00 |
| 2 | Montáž distančního držáku do podstavce | | | | 183,00 | 1 042 551,00 |
| 3 | Montáž distančního držáku do zdiva | | | | 172,00 | 254 560,00 |
| 4 | Montáž hromosvodové svorky do 2 šroubů | | | | 140,00 | 132 400,00 |
| 5 | Montáž hromosvodové svorky nad 2 šrouby | | | | 201,50 | 134 199,00 |
| 6 | Montáž jímací tyče do 3 m na konstrukci | | | | 858,00 | 9 854,00 |
| 7 | Montáž jímací tyče do 3 m na stojan | | | | 458,50 | 57 313,50 |
| 8 | Montáž jímací tyče nad 3 m na stojan | | | | 572,00 | 12 584,00 |
| 9 | Montáž stojanu do betonových podstavců | | | | 357,50 | 1 030,00 |
| 10 | Montáž svodového vodiče bez podpěr | | | | 154,00 | 231 000,00 |
| 11 | Montáž vodiče pevně | | | | 72,40 | 571 960,00 |
| 12 | Označení svodu štítkem | | | | 63,00 | 3 780,00 |
| 13 | Přemístění betonového podstavce do výšky 25 m nošením | | | | 73,80 | 437 412,60 |
| 14 | Uložení uzem. drátu v zemi do 10 mm | | | | 91,50 | 54 900,00 |
| 15 | Uložení uzem. pásku v zemi do 120 mm ² | | | | 68,80 | 364 640,00 |
| Celková částka za montáž | | | | | | 3 329 406,10 Kč |
| Celková částka materiál + montáž | | | | | | 15 459 691,00 Kč |

Je uvažováno, že 1 m FeZn = 0,62 kg, 1 m AlMgSi = 0,135 kg. (Informace o přepočtech jsou čerpány z [29]).

Příloha C - Grafické zpracování vnějšího LPS Varianty A – stíny po východu a před západem Slunce





Příloha D - Rozpočet Varianty B

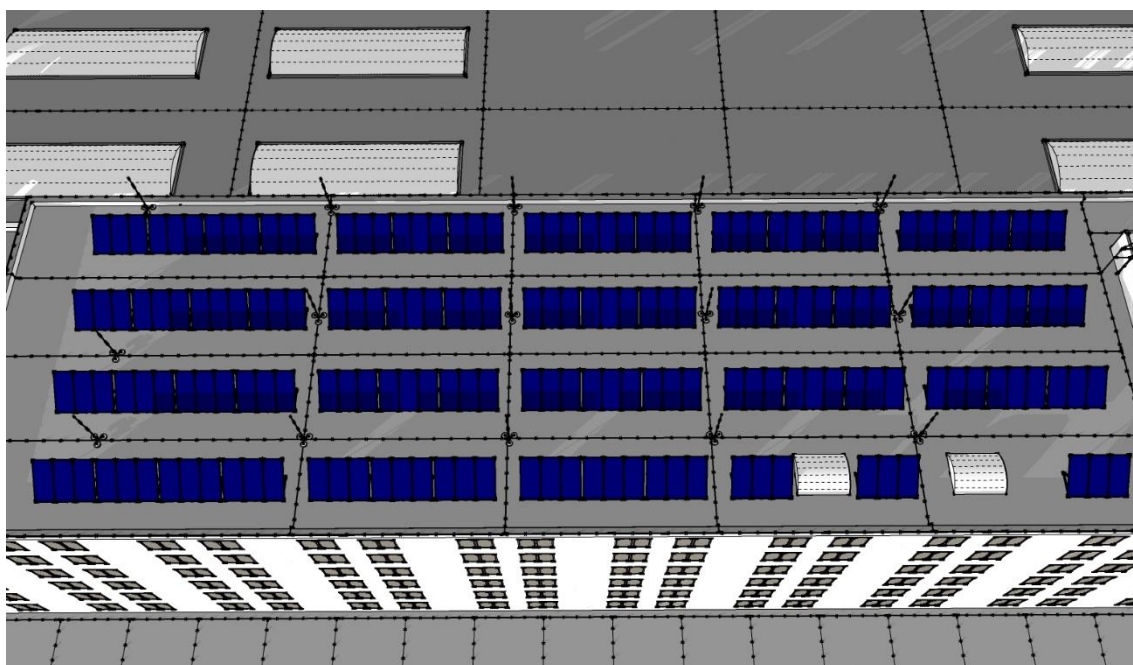
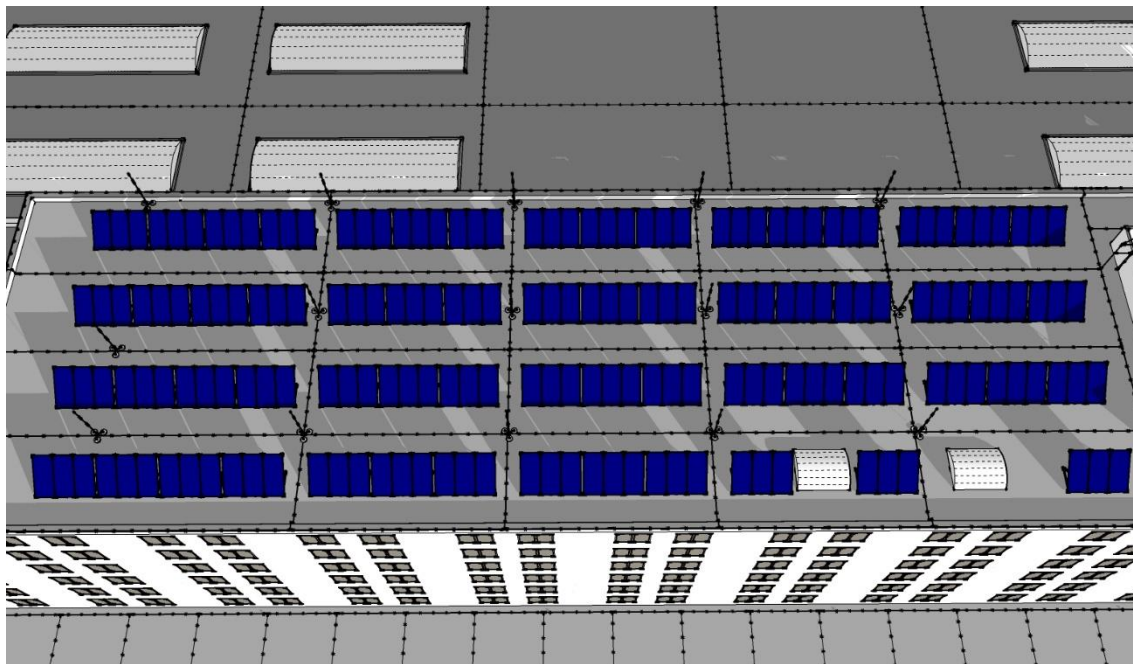
Uvedené ceny nezahrnují DPH. Cena za materiál vychází z [33], cena za montáž dostupná na [34].

| | Seznam materiálu | Objednávací číslo | Počet | Jednotka (ks/kg/m) | Cena za jedn. (Kč) (projektová cena) | Celková cena (Kč) |
|-----------------------------------|---|-------------------|---------|--------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Jímač | | | | | | |
| 1 | AlMgSi 8 mm polotvrdý (hromosvodový vodič) | 840 108 | 579,285 | kg | 152,60 | 88 398,89 |
| 2 | Betonový podstavec 17 kg | 102 340 | 111 | ks | 527,10 | 58 508,10 |
| 3 | Betonový podstavec 1 kg | 253 060 | 4391 | ks | 52,00 | 228 332,00 |
| 4 | Dilatační propojka kruhová | 374 011 | 85 | ks | 100,60 | 8 551,00 |
| 5 | Jímací tyč volně stojící (3500 mm) | 105 535 | 37 | ks | 4 189,30 | 155 004,10 |
| 6 | Sestava DEHNiso-Combi (5700 mm) | 105 455 | 8 | ks | 13 832,10 | 110 656,80 |
| 7 | Stojan čtyřramenný pro jímací tyče D40 a podpůrné trubky GFK/Al | 107 491 | 4 | ks | 152,60 | 88 398,89 |
| 8 | Svorka pro jímací tyč | 392 050 | 69 | ks | 76,30 | 5 264,70č |
| 9 | Univerzální svorka | 315 119 | 628 | ks | 157,80 | 99 098,40 |
| Vyrovnání potenciálů | | | | | | |
| 10 | Drát FeZn d10 | 800 310 | 40801 | m | 218,50 | 5 527 311,47 |
| 11 | Křížová svorka pro 2 dráty | 318 251 | 6225 | ks | 150,90 | 939 352,50 |
| Zemnění | | | | | | |
| 12 | Křížová svorka pro 2 pásy | 318 033 | 546 | ks | 133,50 | 72 891,00 |
| 13 | Zemnicí pás | 810 304 | 5300 | m | 293,00 | 1 552 900,00 |
| Celková částka za materiál | | | | | | 12 233 975,99 Kč |

| | Ocenění montáže | Kč/m Kč/ks | Celková cena (Kč) |
|---|---|-------------------|--------------------------|
| 1 | Montáž dilatační propojky | 114,50 | 9 732,50 |
| 2 | Montáž hromosvodové svorky do 2 šroubů | 140,00 | 97 580,00 |
| 3 | Montáž hromosvodové svorky nad 2 šrouby | 201,50 | 1 364 356,50 |
| 4 | Montáž jímací tyče nad 3 m na konstrukci | 858,00 | 6 864,00 |
| 5 | Montáž jímací tyče nad 3 m na stojan | 572,00 | 21 164,00 |
| 6 | Montáž stojanu do betonových podstavců | 357,50 | 1 030,00 |
| 7 | Montáž vodiče pevně | 72,40 | 310 668,40 |
| 8 | Přemístění betonového podstavce do výšky 25 m nošením | 73,80 | 332 247,60 |
| 9 | Uložení uzem. drátu na povrchu do 10 mm | 91,50 | 4 182 102,50 |
| 10 | Uložení uzem. pásku v zemi do 120 mm ² | 68,80 | 364 640,00 |
| Celková částka za montáž | | | 6 680 653,00Kč |
| Celková částka materiál + montáž | | | 18 914 628,99Kč |

Je uvažováno, že 1 m FeZn = 0,62 kg, 1 m AlMgSi = 0,135 kg. (Informace o přepočtech jsou čerpány z [29]).

Příloha E - Grafické zpracování vnějšího LPS Varianty B – stíny po východu a před západem Slunce



Příloha F - Rozpočet Varianty C

Uvedené ceny nezahrnují DPH. Cena za materiál vychází z [33], cena za montáž dostupná na [34].

| | Seznam materiálu | Objednávací číslo | Počet | Jednotka (ks/kg/m) | Cena za jedn. (Kč) (projektová cena) | Celková cena (Kč) |
|--------------|--|-------------------|-------|--------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Jímač | | | | | | |
| 1 | AlMgSi 8 mm polotvrdý (hromosvodový vodič) | 840 008 | 674 | kg | 152,60 | 102 860,79 |
| 2 | Betonový podstavec 17 kg | 102 340 | 3904 | ks | 527,10 | 2 057 798,40 |
| 3 | Betonový podstavec 17 kg | 102 012 | 772 | ks | 376,30 | 290 503,60 |
| 4 | Betonový podstavec C45/55 s klínkem D 240 mm – SE | 102 075 | 519 | ks | 296,50 | 153 883,50 |
| 5 | Betonový podstavec C45/55 s madlem a klínkem | 102 010 | 44 | ks | 423,10 | 18 616,40 |
| 6 | Dilatační propojka kruhová | 374 011 | 140 | ks | 100,60 | 14 084,00 |
| 7 | Distanční držák DEHNiso (1015 mm) | 106 175 | 3904 | ks | 811,50 | 3 168 096,00 |
| 8 | Jímací tyč FS GFK/Al (2000 mm) | 106 210 | 10 | ks | 945,00 | 9 450,00 |
| 9 | Podložka plast D 280 mm černá | 102 060 | 519 | ks | 116,20 | 60 307,80 |
| 10 | Podložka plast D 370 mm černá | 102 050 | 302 | ks | 149,10 | 45 028,20 |
| 11 | Podpůrná trubka pro HVI | 105 573 | 70 | ks | 12 398,10 | 867 867,00 |
| 12 | Sada prodlužovacích tyček pro betonové podstavce 4 x 16 x 200 mm nerez | 107 496 | 53 | ks | 1 669,80 | 88 499,40 |
| 13 | Sada přípojovacích prvků pro HVI uložení uvnitř trubky | 819 142 | 201 | ks | 2 127,60 | 427 647,60 |
| 14 | Sada přípojovacích prvků pro HVI uložení vně trubky | 819 149 | 53 | ks | 6 173,00 | 327 169,00 |
| 15 | Stojan čtyřramenný pro jímací tyče D40 a | 107 490 | 70 | ks | 14 929,70 | 1 045 079,00 |

| | | | | | | |
|-----------------------------------|--|-----------------|------|----|-------------------|--------------------------|
| | podpůrné trubky GFK/Al | | | | | |
| 16 | Střešní držák vedení | 253 334 | 512 | ks | 910,40 | 466 124,80 |
| 17 | Tříramenný stojan s PA svorkou | 105 468 | 173 | ks | 7 095,50 | 1 227 521,50 |
| 18 | Univerzální svorka | 315 119 | 834 | ks | 157,80 | 131 605,20 |
| 19 | Vodič HVI power | 819 137 | 2770 | m | 1 688,90 | 4 678 253,00 |
| Svody | | | | | | |
| | Distanční držák DEHNiso nástěnný (530 mm) | 106 090 | 942 | ks | 901,70 | 849 401,40 |
| | Držák vedení | 275 242 | 1270 | ks | 149,10 | 189 357,00 |
| | Krabice pro zkušební svorku | 549 051 | 54 | ks | 2 868,00 | 154 872,00 |
| | Označovací štítek svodu | 490 000-490 009 | 81 | ks | 10,40 | 842,40 |
| | Zkušební svorka | 459 003 | 80 | ks | 161,30 | 12 904,00 |
| Zemnění | | | | | | |
| | Drát FeZn s průměrem 10 mm | 800 310 | 690 | m | 218,50 | 93 474,30 |
| | Křížová svorka pro drát pásek | 321 045 | 120 | ks | 230,60 | 27 672,00 |
| | Křížová svorka pro 2 pásy | 318 033 | 546 | ks | 133,50 | 72 891,00 |
| | Zemní pás | 810 304 | 5300 | m | 293,00 | 1 552 900,00 |
| Celková částka za materiál | | | | | | 18 041 234,99 Kč |
| Ocenění montáže | | | | | | |
| | | | | | Kč/m Kč/ks | Celková cena (Kč) |
| 1 | Montáž dist. držáku oddáleného vedení do podstavce | | | | 183,00 | 714 432,00 |
| 2 | Montáž dist. držáku oddáleného vedení do zdiva | | | | 172,00 | 162 024,00 |
| 3 | Montáž hromosvodové svorky do 2 šroubů | | | | 140,00 | 116 760,00 |
| 4 | Montáž hromosvodové svorky nad 2 šrouby | | | | 201,50 | 134 199,00 |

| | | | |
|---|---|--------|-------------------------|
| 5 | Montáž jímací tyče nad 3 m, na stojan | 572,00 | 40 040,00 |
| 6 | Montáž koncovky na vodič s vysokonapětovou izolací | 57,20 | 11 497,20 |
| 7 | Montáž svodového vodiče D do 10 mm bez podpěr | 154,00 | 149 688,00 |
| 8 | Montáž tříramenného stojanu do bet. podstavců | 257,50 | 2 575,00 |
| 9 | Montáž vodiče ochranného pospojování pevně | 72,40 | 291 120,40 |
| 10 | Montáž vodiče s vysokonapětovou izolací včetně podpěr | 301,50 | 835 155,00 |
| 11 | Označení svodu štítkem | 63,00 | 5 103,00 |
| 12 | Přemístění bet. podstavce do výšky 25 m, nošením | 73,80 | 386 638,20 |
| 14 | Uložení uzem. drátu v zemi FeZn do 10 mm | 91,50 | 63 135,00 |
| 15 | Uložení uzem. pásku v zemi do 120 mm ² , včetně dodávky pásku FeZn 30 x 4 mm | 110,50 | 585 650,00 |
| Celková částka za montáž | | | 3 532 336,80 Kč |
| Celková částka materiál + montáž | | | 21 573 571,79 Kč |

Je uvažováno, že 1 m FeZn = 0,62 kg, 1 m AlMgSi = 0,135 kg. (Informace o přepočtech jsou čerpány z [29]).

**Příloha G - Grafické zpravování vnějšího LPS
Varianty C – stíny po východu
a před západem Slunce**

