

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ

TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**OCHRANA FOTOVOLTAICKÝCH
ELEKTRÁREN PROTI PŘEPĚTÍ**

AUTOR: JAN VLČEK

VEDOUČÍ PRÁCE: ING. PAVEL HRZINA, PH.D.

2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vlček** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **483469**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektroenergetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Ochrana fotovoltaických elektráren proti přepětí

Název diplomové práce anglicky:

Protection of photovoltaic power plants against overvoltage

Pokyny pro vypracování:

1. Popište rizika související s přepětím na FVE a základní principy ochrany proti přepětí.
2. Klasifikujte systémy ochrany proti přepětí příslušící k odlišným typům staveb, tyto systémy ochrany mezi sebou porovnejte a vyhodnoťte.
3. Vypracujte metodiku a vytvořte check-list pro sběr dat o fotovoltaických instalacích z pohledu ochrany proti přepětí.
4. S pomocí metodiky a check-listů z předchozího bodu zadání analyzujte stav ochrany proti přepětí u vybraných FVE.

Seznam doporučené literatury:

- [1] „DEHN + SÖHNE – Lightning Protection Guide“, 3. vydání, Převzato: 28. říjen 2022. [Online]. Dostupné z: <https://www.dehn.cz/cs/blitzplaner-pruvodce-ochranou-pred-bleskem>, ISBN: 978-3-9813770-1-9
- [2] Soubor norem „ČSN EN 62 305 částí 1 až 4“, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [3] „ČSN CLC/TS 50539-12 Ochrany před přepětím nízkého napětí – Ochrany před přepětím pro zvláštní použití zahrnující DC – Část 12: Zásady výběru a použití – SPD připojená do fotovoltaických instalací“, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [4] J. Hájek a D. Šalanský, „PRVNÍ ELEKTRONICKÁ KNÍŠKA O OCHRANĚ PŘED BLESKEM“. [Online]. Dostupné z: https://www.kniska.eu/kniska/kniska_2.1-1

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Pavel Hrzina, Ph.D. katedra elektrotechnologie FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **15.09.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce: **16.02.2025**

Ing. Pavel Hrzina, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svému vedoucímu Ing. Pavlu Hrzinovi, Ph.D. za cenné rady a veškerou pomoc při psaní této práce. Dále děkuji své rodině a všem svým blízkým za veškerou podporu a pomoc po celou dobu studia.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 8. January 2024

.....

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou ochrany fotovoltaických elektráren proti přepětí. Fotovoltaické elektrárny jsou vystaveny vnějším vlivům, z nichž jedním z častých je právě přepětí. To může vzniknout různými způsoby, zejména úderem blesku nebo spínáním elektrických zařízení. S ohledem na vysoké náklady na pořízení fotovoltaiky a očekávanou dlouhou životnost je klíčové zajistit adekvátní ochranu proti škodlivým účinkům přepětí.

Cílem této práce je použití relevantních informací z praxe, norem a odborné literatury s následným vytvořením efektivních řešení pro ochranu fotovoltaických elektráren proti přepětí. Výstupem této práce je metodika, která může být aplikována na existující fotovoltaické elektrárny. Tato metodika usnadňuje celkovou kontrolu systému v oblasti ochrany před přepětím a přispívá k prevenci vzniku chyb.

V závěru práce je provedeno ověření funkčnosti vypracované metodiky na konkrétních fotovoltaických elektrárnách. Výsledky vyhodnocují efektivnost a správnost navržených řešení z hlediska ochrany proti přepětí. Metodika má přínos pro bezpečný a spolehlivý provoz fotovoltaických elektráren v období své dlouhé životnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA:

fotovoltaika, přepětí, ochrana, SPD, FVE, elektroinstalace

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the issue of protection of photovoltaic power plants against overvoltage. Photovoltaic power plants are exposed to various external influences, one of the most common of which is overvoltage. This can arise in various ways, in particular from lightning strikes or switching of electrical devices. Considering the high cost of purchasing photovoltaics and the expected long lifetime, it is crucial to ensure adequate protection against the harmful effects of overvoltage.

The goal of this thesis is to use relevant information from practice, standards and literature to develop effective solutions for the protection of photovoltaic power plants against overvoltage. The main output of this work is a methodology that can be applied to existing PV plants. This methodology facilitates overall system control in the area of surge protection and contributes to the prevention of errors.

At the end of the thesis, the functionality of the developed methodology is applied on specific PV power plants. The results evaluate the effectiveness and correctness of the proposed solutions in terms of surge protection. The methodology is beneficial for the safe and reliable operation of PV power plants during their long lifetime.

KEYWORDS:

photovoltaics, overvoltage, surge, protection, SPD, PV, electrical installation

OBSAH

ÚVOD	1
KAPITOLA 1: ÚVOD DO PŘEPĚŤOVÝCH OCHRAN (RIZIKA SOUVISEJÍCÍ S PŘEPĚTÍM NA FVE A PRINCIPY OCHRAN)	2
1.1 PŘEPĚTÍ	2
1.2 ATMOSFÉRICKÁ PŘEPĚTÍ	4
1.2.1 Údery blesku	5
1.2.2 Hladiny ochrany před bleskem LPL a třída ochrany před bleskem LPS	7
1.2.3 Zóny ochrany před bleskem.....	9
1.3 NÁVRH SYSTÉMU OCHRANY PŘED BLESKEM	11
1.3.1 Analýza rizika	11
1.3.2 Výpočet minimálních vzdáleností.....	12
1.3.3 Shrnutí obecného postupu při návrhu systému ochrany před bleskem.....	14
1.3.4 Ochranná opatření.....	14
1.4 VNĚJŠÍ SYSTÉM OCHRANY PŘED BLESKEM	15
1.4.1 Jímací soustava.....	15
1.4.2 Soustava svodů.....	17
1.4.3 Uzemňovací soustava.....	18
1.5 VNITŘNÍ SYSTÉM OCHRANY PŘED BLESKEM	19
1.5.1 Ekvipotenciální pospojování.....	19
1.5.2 Vyrovnání potenciálu fotovoltaického systému	21
1.5.3 Svodiče přepětí.....	22
1.5.4 Přepět'ové ochrany pro fotovoltaické systémy	25
1.5.5 Výběr vhodné SPD na DC straně PV systémů	28
1.5.6 Koordinace jednotlivých stupňů ochrany SPD.....	28
1.5.7 Povinnost instalace přepět'ových ochran	29
1.6 RIZIKO PŘEPĚTÍ Z HLEDISKA FVE	31
1.6.1 Riziko přímého úderu blesku.....	31
1.6.2 Riziko nepřímého úderu blesku	31
KAPITOLA 2: SYSTÉMY OCHRANY PROTI PŘEPĚTÍ	33
2.1 SYSTÉM BEZ HROMOSVODU	34
2.1.1 Systém dle normy, bez předpokladu přímého úderu blesku	34
2.1.2 Doporučený způsob nad rámec normy, s předpokladem přímého úderu blesku	36
2.1.3 Uzemnění s vnějším vyvedením ochranného vodiče	37
2.2 SYSTÉM S HROMOSVODEM A DODRŽENOU VZDÁLENOSTÍ S	38

2.2.1	Výhody systému s hromosvodem a dodržanou vzdáleností s.....	39
2.3	SYSTÉM S HROMOSVODEM A NEDODRŽENOU VZDÁLENOSTÍ S.....	40
2.3.1	Použití izolovaného vysokonapěťového kabelu HVI	42
2.3.2	Systém s kovovou střechou.....	42
KAPITOLA 3: METODIKA PRO VYHODNOCENÍ OCHRANY FVE PROTI PŘEPĚTÍ.....		44
3.1	POPIS METODIKY.....	44
3.2	POSTUP METODIKY.....	44
3.3	TECHNICKÉ ÚDAJE.....	46
3.4	SEKCE 1: KONTROLA INSTALACE PANELŮ A KABELŮ VEDOUCÍ DO OBJEKTU	48
3.4.1	Checklist pro sekci 1.....	49
3.5	SEKCE 2: KONTROLA VNĚJŠÍ OCHRANY PŘED BLESKEM	52
3.5.1	Checklist pro sekci 2.....	53
3.6	SEKCE 3: KONTROLA VNITŘNÍ OCHRANY PŘED BLESKEM	55
3.6.1	Checklist pro sekci 3.....	56
3.7	ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ	58
KAPITOLA 4: APLIKOVÁNÍ METODIKY: ANALÝZA STAVU OCHRAN PROTI PŘEPĚTÍ VYBRANÝCH FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN		59
4.1	FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA 1.....	59
4.1.1	Závěrečné zhodnocení.....	63
4.2	FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA 2.....	64
4.2.1	Závěrečné zhodnocení.....	69
4.3	FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA 3.....	70
4.3.1	Závěrečné zhodnocení.....	73
ZÁVĚR.....		74
LITERATURA.....		75
SEZNAM PŘÍLOH		78
PŘÍLOHA A: SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		79
A.1	SEZNAM SYMBOLŮ.....	79
A.2	SEZNAM ZKRATEK	80
PŘÍLOHA B: APLIKOVANÁ METODIKA NA VYBRANÉ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY81		
B.1	FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA 1 - CHECKLIST	81
B.2	FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA 2 – CHECKLIST	87
B.3	FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA 3 – CHECKLIST	94

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1: Definice parametrů výboje (zpravidla $T_2 < 2$ ms) [3]	4
Obr. 1-2: Dlouho trvající výboj pro kladnou nebo zápornou hodnotu bleskového proudu (2 ms $< T_{long} < 1$ s) [3].....	5
Obr. 1-3: Testovací proudové impulzy simulující bleskové proudy (1: vlna 10/350 μ s) a přepětí (2: vlna 8/20 μ s) [5].....	7
Obr. 1-4 Zóny ochrany před bleskem (LPZ) [7].....	10
Obr. 1-5: Přeskoková vzdálenost s , vliv délky měřeného úseku na vzdálenosti v jednotlivých bodech[7].....	13
Obr. 1-6: Měnicí se parametry metody ochranného úhlu v závislosti na třídě LPS [10].....	17
Obr. 1-7: Vyrovnání potenciálu bleskového proudu na vstupujících vodičích všech profesí [13].....	20
Obr. 1-8: Příklad ekvipotenciální přípojnice K12 s násuvnými svorkami [14]	21
Obr. 1-9: Ochranné pospojení hliníkových profilů pro FV panely, soustava s dodržanou přeskokovou vzdáleností s [7]	22
Obr. 1-10: Ochranné pospojení hliníkových profilů pro FV panely a nutné propojení s hromosvodem v případě nedodržení přeskokové vzdálenosti s [7]	22
Obr. 1-11: Součet dílčích úbytků na svorkách chráněného zařízení [16]	24
Obr. 1-12: Maximální délky přípojovacích vodičů svodiče přepětí [16].....	24
Obr. 1-13: Předjištění SPD v síti TN-S, zapojení x+4 [16]	24
Obr. 1-14: Kombinovaný svodič přepětí Saltek T1+T2 (B+C) [18].....	25
Obr. 1-15: DC svodič přepětí s technologií SCI [19].....	26
Obr. 1-16: SPD T2, dvoumodulové provedení – zapojení do U [20].....	27
Obr. 1-17: SPD T2, schéma zapojení do U [20]	27
Obr. 1-18: SPD T2, tří modulové provedení, zapojení do Y [21]	27
Obr. 1-19: SPD T2, schéma zapojení do Y [21].....	27
Obr. 2-1: Systém FVE bez hromosvodu [28].....	35
Obr. 2-2: FVE na střeše rodinného domu, systém bez hromosvodu [29]	37
Obr. 2-3: Systém FVE s hromosvodem a dodrženu vzdáleností s [28]	39
Obr. 2-4: Systém FVE s hromosvodem a nedodrženu vzdáleností s [28].....	41
Obr. 4-1: Zapojení FVE.....	61
Obr. 4-2: Rozváděč RH.....	61

Obr. 4-3: Rozváděč RFVE AC	61
Obr. 4-4: Rozváděč RP.....	61
Obr. 4-5: Rozváděč RFVE DC.....	62
Obr. 4-6: Krytina s hliníkovými profily a hromosvodem před instalací	62
Obr. 4-7: Rozmístění panelů na střeše.....	62
Obr. 4-8: Stringy fotovoltaické elektrárny, nahoře 1.1 až 1.3, dole 2.1 až 2.3	65
Obr. 4-9: SPD box s motorovými vypínači na rozhraní LPZ 0/LPZ 1	67
Obr. 4-10: SPD box pro stavbu 1 na rozhraní LPZ 0/LPZ 1	67
Obr. 4-11: 1. část FVE na 1. stavbě	67
<i>Obr. 4-12: 2. část FVE na 2. stavbě</i>	<i>67</i>
Obr. 4-13: Hlavní rozváděč (RH) rozváděč 1. stavby	68
Obr. 4-14: Podružný rozváděč (RP) rozváděč 2. stavby	68
Obr. 4-15: FVE východní strana – systém spojený s hromosvodem.....	71
Obr. 4-16: FVE západní strana – systém spojený s hromosvodem	72
Obr. 4-17: Rozváděč fotovoltaiky RFVE DC	72
Obr. 4-18: Rozváděč fotovoltaiky RFVE AC	72

SEZNAM TABULEK

Tab. 1-1: Očekávané rázové vlny v síti v závislosti na úderu blesku [3].....	7
Tab. 1-2: Maximální hodnoty bleskových proudů a jejich pravděpodobnosti [7].....	8
Tab. 1-3: Minimální hodnoty bleskových proudů a jejich pravděpodobnosti [7]	8
Tab. 1-4: Izolace vnějšího LPS – koeficient k_i [10].....	12
Tab. 1-5: Izolace vnějšího LPS – koeficient k_m [10]	12
Tab. 1-6: Izolace vnějšího LPS – koeficient k_c [10]	13
Tab. 1-7: Mění se parametry ochranných metod v závislosti na třídě LPS [10]	17
Tab. 1-8: Maximální vzdálenosti mezi svody dle třídy LPS [10]	18
Tab. 2-1: Minimální tloušťky kovových oplechování nebo kovových potrubí jímacích soustav [10] .	43

ÚVOD

Instalace fotovoltaických elektráren nabyla v poslední době obrovské popularity. Například za rok 2022 bylo v zemích EU zprovozněno 41,4 GWp výkonu z fotovoltaických elektráren. Oproti předchozímu roku, kdy bylo instalováno 28,1 GWp, jde o 47% nárůst [1]. Vzhledem k současným¹ vysokým cenám elektrické energie a k větší touze po energetické nezávislosti, je poptávka po výrobě vlastní elektřiny relativně vysoká. Obvykle je už při objednání této služby u firmy velká čekací lhůta a někteří lidé se chýlí k výstavbě svépomocí. Výstavba FVE také nabývá na rychlosti díky snaze Evropské unie zvýšit podíl obnovitelných zdrojů v energetickém mixu.

Fotovoltaická elektrárna může být vystavena nepříznivým vnějším vlivům, které jí mohou poškodit. Jedna z častých příčin poškození je přepětí. Přepětí může nastat přímým i nepřímým úderem blesku, ale také spínáním nebo poruchou jiných elektrických zařízení. Vzhledem k pořizovací ceně fotovoltaiky a k očekávané životnosti 25-30 let je potřeba, aby byla správně chráněná proti škodlivým účinkům přepětí. V dnešní době se ne vždy jedná o jednoznačnou problematiku. Cílem této diplomové práce je sjednotit veškeré poznatky z praxe, norem a odborné literatury a sepsat správná řešení systému ochrany fotovoltaických elektráren proti přepětí. Výstupem je pak vypracovaná metodika, která lze aplikovat na existující fotovoltaické elektrárny. Metodika usnadňuje kontrolu celého systému z hlediska ochrany proti přepětí a pomáhá vyhnout se případným chybám. V závěru práce se pak pro ověření funkčnosti nachází aplikovaná metodika na vybrané fotovoltaické elektrárny. Metodika ověřuje správnost návrhu fotovoltaických elektráren z hlediska ochrany proti přepětí.

¹ Vztaženo ke druhé polovině roku 2022 v porovnání s cenami v předchozích letech

KAPITOLA 1: ÚVOD DO PŘEPĚŤOVÝCH OCHRAN (RIZIKA SOUVISEJÍCÍ S PŘEPĚTÍM NA FVE A PRINCIPY OCHRAN)

1.1 Přepětí

Normalizovaná hodnota napětí v elektrické síti České republiky je na hladině nízkého napětí 230/400 V. Dovolena tolerance je stanovena na 10 %. V elektrické síti jsou tedy dovolené efektivní hodnoty fázové/sdružené náležící v intervalech uvedených níže.

$$U_{sít'f} = (230 \pm 10 \%) \text{ V tj. } U_{sít'f} \in [207; 253] \text{ V} \quad (1-1)$$

$$U_{sít'} = (400 \pm 10 \%) \text{ V tj. } U_{sít'} \in [360; 440] \text{ V} \quad (1-2)$$

Pro definování *přepětí* je potřeba popsat pojem *nejvyšší hodnota provozního napětí v dané síti*. Nejvyšší hodnota napětí v síti U_m je efektivní hodnota napětí, která se v síti může vyskytovat za normálních provozních podmínek v libovolném čase a na libovolném místě. Je to tedy nejvyšší dovolená efektivní hodnota, která se může v síti během provozních podmínek vyskytovat. V případě elektrické sítě v ČR na hladině nízkého napětí se jedná o hodnoty $U_{mf} = 253 \text{ V}$ nebo $U_m = 440 \text{ V}$.

Přepětí u je překročení amplitudy *nejvyšší hodnoty provozního napětí v síti*, například v případě úrovně nízkého napětí ve střídavé síti se jedná o překročení hodnot:

$$u > \sqrt{2} \cdot U_m \quad (1-3)$$

$$u_f > 1,1 \cdot 230 \cdot \sqrt{2} \text{ V} \doteq 358 \text{ V} \quad (1-4)$$

$$u > 1,1 \cdot 400 \cdot \sqrt{2} \text{ V} \doteq 622 \text{ V} \quad (1-5)$$

Z hlediska ochrany proti přepětí má smysl se zabývat tzv. přechodným přepětím. Jedná se o krátkodobé změny napětí, trvající řádově milisekundy či méně a má tlumený oscilační nebo impulzní charakter. Dá se rozdělit dle původu vzniku na *spínací přepětí*, způsobené spínacími pochody v síti a na *atmosférické přepětí*, způsobené přímým či nepřímým úderem blesku. Přepětí mají destruktivní účinky, mohou způsobit požár, ničit elektrická zařízení nebo ublížit živým bytostem. Z tohoto důvodu je nutno existenci přepětí v chráněné instalaci předcházet a v případě vzniku se jeho přítomnosti v instalaci vhodným a bezpečným způsobem zbavit, aniž by došlo k přebytečným škodným událostem.

Spínací přepětí se v síti vyskytují čteněji než atmosférická. Jsou způsobena velkým počtem připojených elektrických zařízení k síti, která mohou během spínání v síti způsobit přepětí nebo jiné poruchové stavy sítě. Tato elektrická zařízení mají dle požadavků elektromagnetické kompatibility (EMC) stanovenou mez, jakou mohou rušit a mez, jakému cizímu rušení musí odolat. Spínací přepětí se vyskytuje mezi pracovními vodiči (fáze-fáze, fáze-nula), z tohoto důvodu je také nazýváno jako přepětí příčné.

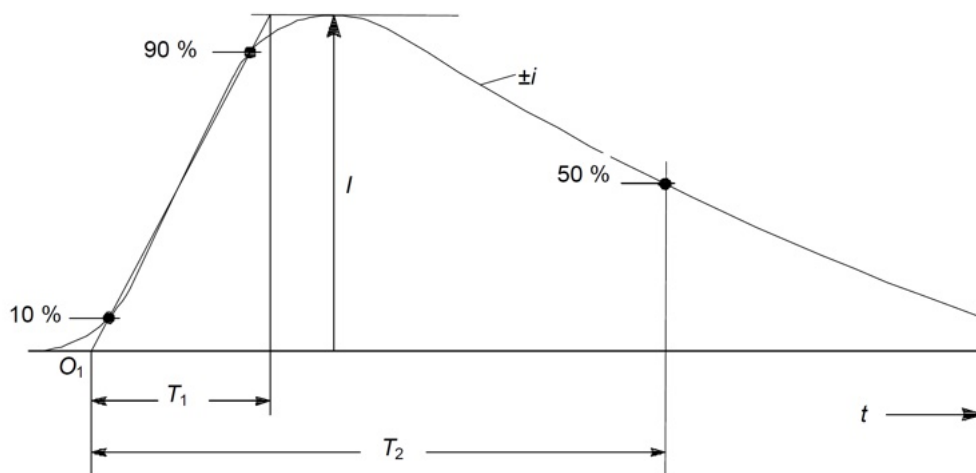
Přepětí vzniklé atmosférickými jevy, nazývané také jako podélné přepětí, nastává mezi pracovním vodičem a zemí (L-PE, N-PE). Je nebezpečné především pro technologie s uzemněnou kostrou, kde hrozí průraz izolace.

Energie přepětíové vlny způsobené spínacími pochody v síti je značně menší než energie přepětíové vlny způsobené úderem blesku. V případě instalace ochrany proti přepětí má smysl se rovnou zabývat přepětím atmosférickým. Tím se ve většině případech splní i ochrana proti spínacímu přepětí, neplatí to však vždy. To závisí na tom, jaká opatření proti přepětí jsou použita. [2]

1.2 Atmosférická přepětí

Při úderu blesku vzniká elektrický výboj s bleskovým proudem kladné či záporné polarity. Bleskový proud se skládá z jednoho nebo více dílčích bleskových výbojů, které se dělí na 2 základní druhy dle tvaru přepět'ové vlny a délky trvání. Krátký výboj, který je znázorněn na Obr. 1-1, má délku trvání impulsu obvykle $T < 2$ ms. Oproti tomu dlouho trvající výboj s délkou obvykle $2 \text{ ms} < T < 1 \text{ s}$, jak je vidět na Obr. 1-2, disponuje menšími výkyvy a zpravidla nabývá menších maximálních hodnot. Do jednoho místa může udeřit i více výbojů za sebou, které mohou být kombinací krátkých a dlouhých výbojů. Dále se rozlišuje blesk sestupný a vzestupný. U nižších staveb a na plochých území dominuje sestupný blesk, naopak u budov vysokých a „vystupujících z řady“ převažuje blesk vzestupný. Parametry výbojů blesku vzestupného nabývají nižších hodnot.

Tvar přepět'ové vlny lze vidět na Obr. 1-1 níže. Takový atmosférický impuls se dá simulovat např. rázovým generátorem impulzů, s jehož pomocí lze pak testovat nebo navrhovat jednotlivé ochrany tak, aby odolaly bleskovým proudům.

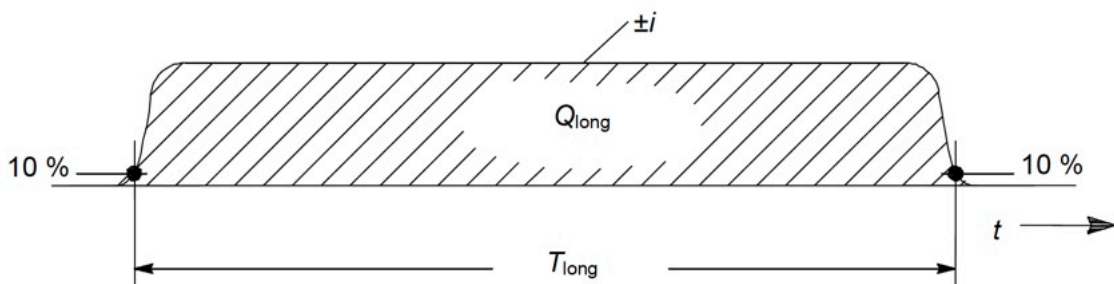


Obr. 1-1: Definice parametrů výboje (zpravidla $T_2 < 2$ ms) [3]

Legenda:

O_1 – efektivní počátek, I – vrcholová hodnota proudu, T_1 – doba čela, T_2 – doba pŕltýlu

Rŕst impulsu popisuje doba čela impulzního proudu T_1 , která představuje 1,25násobek časového intervalu mezi okamžiky dosažení 10 % a 90 % vrcholové hodnoty proudu. Pokud zkonstruujeme prŕsečík časové osy s pŕímkou procházející 10 % a 90 % vrcholové hodnoty impulzního proudu I , dostaneme efektivní počátek O_1 . Poté impuls nabývá vrcholové hodnoty I a začíná klesat. To, jak rychle klesne je popsáno tzv. dobou pŕltýlu impulzního proudu, což je časový interval mezi efektivním počátkem O_1 a okamžikem, ve kterém klesne proud na polovinu vrcholové hodnoty. Obecně se dá zapsat, že se jedná o vlnu T_1/T_2 [s]. Přepět'ové vlny trvají v řádech mikrosekund a jsou popsány jako typizované pŕběhy 8/20 μs nebo 10/350 μs .



Obr. 1-2: Dlouho trvající výboj pro kladnou nebo zápornou hodnotu bleskového proudu ($2 \text{ ms} < T_{\text{long}} < 1 \text{ s}$) [3]

Legenda: T_{long} – doba trvání výboje, Q_{long} – celkový náboj výboje

1.2.1 Údery blesku

Úder blesku, ať už přímý nebo nepřímý může mít negativní vliv na samotný objekt, na jeho obyvatele anebo elektrická zařízení. Míra poškození závisí na vlastnostech stavby a na charakteristice samotného blesku. V případě zásahu blesku do obytného domu může dojít k průrazu elektrických instalací, požáru a k materiálním škodám. Dále hrozí poruchy elektrických zařízení a instalovaných systémů (inženýrské sítě, spotřebiče). Příčinou poškození je bleskový proud. Podle toho, jakým způsobem došlo k ovlivnění stavby atmosférickým impulzem se rozlišují příčiny a typy poškození staveb do čtyř skupin [3]:

- a. S1: údery do stavby (většinou střecha domu),
- b. S2: údery v blízkosti stavby (například strom),
- c. S3: údery do sítí připojených ke stavbě (elektrické nebo sdělovací vedení),
- d. S4: údery v blízkosti sítí připojených ke stavbě (například úder do stromu nebo do země v blízkosti elektrického vedení).

Skupiny S2 a S4 představují malé ohrožení instalace. Během zásahu blesku vzniká elektromagnetické pole, které indukuje na všech kovových částech v okolí napětí. Pokud by kovové části tvořily uzavřenou smyčku, může se skrz ni uzavírat elektrický proud. Proud se také může uzavřít napěťovým přeskokem z jedné vodivé části na druhou. Průchod proudu vyvolá na ovlivněném úseku úbytek napětí, který může nabývat životu nebezpečných hodnot. Samotné napětí vytvořené indukční vazbou má také vliv na namáhání elektrické izolace a může způsobit poškození elektrických zařízení, elektrický průraz a následný průchod proudu na jejich neživé části.

Úder v blízkosti stavby (S2) může představovat např. zásah do stromu. Úder v blízkosti inženýrské sítě připojené ke stavbě (S4) může nastat ve vzdálenosti jednotek km od stavby [4], a přesto instalaci v domě ovlivnit. Konkrétní vzdálenost stanovit nelze, protože záleží na větším množství faktorů, jako jsou délka vedení, počet uzlů, velikost bleskového proudu apod. Vlivem zásahu se do inženýrských sítí indukuje napětí a může vzniknout přepětová vlna dosahující hodnot jednotek až desítek kA ve vlně 8/20 μ s v každém vodiči. Tyto zásahy představují malá ohrožení instalace.

V případě S3 zasáhne blesk do sítě připojené přímo ke stavbě. V elektroinstalacích, kde jsou elektrické přípojky nn provedené z venkovních vedení, může nastat zásah do přípojek nebo do elektrického vedení. Přepětová vlna může dosahovat proudů desítek až stovek kA ve vlně 10/350 μ s. S3 je považováno za střední ohrožení instalace.

První skupina (S1) zahrnuje přímé údery blesku do stavby. Zde může bleskový proud v místě úderu dosáhnout hodnot až 200 kA ve vlně 10/350 μ s. Tato situace dokáže napáchat největší škody a představuje velké ohrožení instalace. [2]

Obecně je považováno, že přímé údery, šířící se zejména galvanickou vazbou, vyvolávají bleskové proudy odpovídající vlně 10/350 μ s a nepřímé údery vyvolávají proudy odpovídající vlně 8/20 μ s. Vlny 10/350 μ s nabývají větších energetických hodnot a mají ničivější účinky. To je potřeba zohlednit při dimenzování vodičů ochranného pospojování nebo parametrů přepětových ochran. Na Obr. 1-3 je viditelné srovnání těchto dvou vln, kde plocha pod křivkou odpovídá celkovému náboji výboje. Je na první pohled vidět velký energetický rozdíl těchto vln.

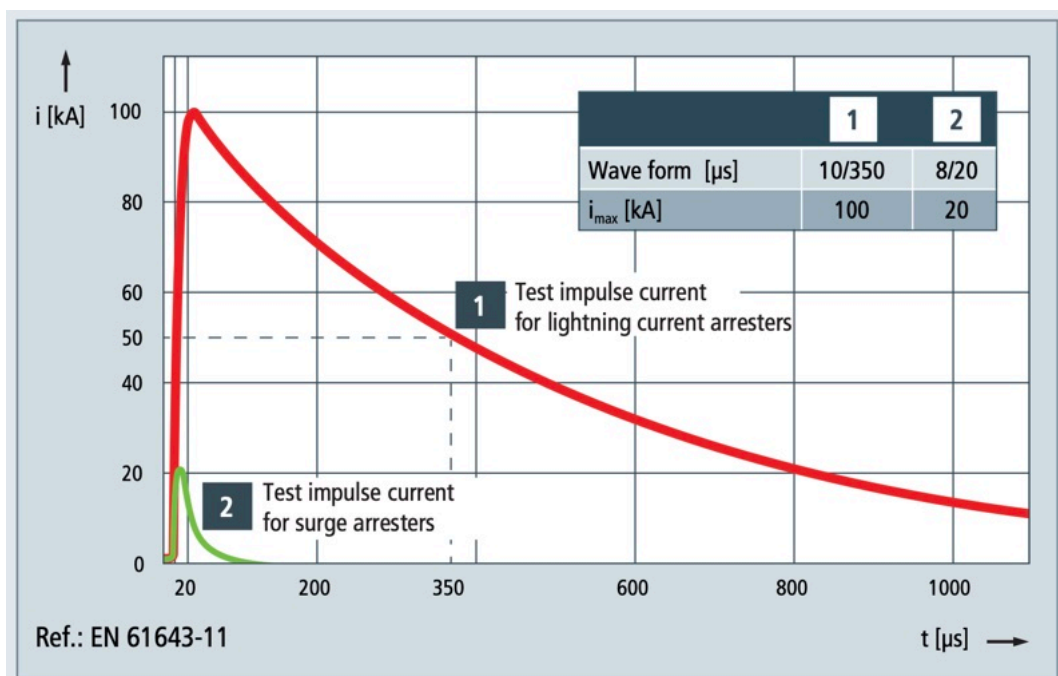
V této práci bude vlna 10/350 μ s nazývána jako bleskový proud a vlna 8/20 μ s nazývána jako přepětová vlna (nebo indukované přepětí). Důvodem je zohlednění názvosloví přepětových ochran SPD třídy 1 – svodič bleskových proudů a třídy 2 – svodič přepětí.

Na základě typu úderu se mění maximální velikost rázového proudu a její tvar. To je klasifikováno rozdělením do výše zmíněných skupin S1-S4. Bližší podrobnosti a konkrétní hodnoty se nachází v Tab. 1-1 na následující stránce.

LPL (třída)	Sítě nízkého napětí				
	Přímý a nepřímý úder do stavby		Úder blesku v blízkosti stavby ^a	Úder blesku do stavby ^a	
	Příčina poškození S3 (přímý úder) ^b	Příčina poškození S4 (nepřímý úder) ^c	Příčina poškození S2 (indukovaný proud)	Příčina poškození S1 (indukovaný proud)	
	Tvar proudu: 10/350 μ s (kA)	Tvar proudu: 8/20 μ s (kA)	Tvar proudu ^d : 8/20 μ s (kA)	Tvar proudu ^d : 8/20 μ s (kA)	
III-IV	5	2,5	0,1	0,01	5
II	7,5	3,75	0,2	0,15	7,5
I	10	5	0,2	0,2	10

POZNÁMKA Všechny hodnoty se vztahují na každý vodič.

Tab. 1-1: Očekávané rázové vlny v síti v závislosti na úderu blesku [3]



Obr. 1-3: Testovací proudové impulzy simulující bleskové proudy (1: vlna 10/350 μ s) a přepětí (2: vlna 8/20 μ s) [5]

1.2.2 Hladiny ochrany před bleskem LPL a třída ochrany před bleskem LPS

Bleskový proud může mít na různých místech ve stavbě odlišné maximální hodnoty² a parametry. Může mít kladný nebo záporný náboj, jinou délku trvání a různý tvar výboje. Jaký bleskový proud se bude vyskytovat v objektu záleží na vlastnostech stavby a jejího okolí nebo na typu ovlivnění

² jedná se o vrcholovou hodnotu proudu I [kA] v celém průběhu

stavby atmosférickým impulzem (viz skupiny S1 – S4 v sekci 1.2.1). Pro podrobnější zařazení výskytu bleskových proudů na objektu jsou normou určeny tzv. hladiny ochrany před bleskem (LPL – lightning protection level). Jedná se o číslo od I do IV, které je vztaženo k souboru hodnot parametrů bleskového proudu. [6] Ke každé LPL jsou přiřazeny minimální a maximální hodnoty bleskového proudu a k nim související pravděpodobnost výskytu příslušných blesků. Velikosti maximálních a minimálních hodnot bleskových proudů jsou navíc rozlišeny dle polarity, dle délky a tvaru nebo zda se jedná o první nebo následný výboj. Tato rozdělení jsou podrobněji rozepsána v normě ČSN EN 62 305-1 ed. 2. Pro klasifikaci do jednotlivých LPL jsou postačující upravené Tab. 1-2 a Tab. 1-3 uvedené níže.

Maximální hodnoty bleskového proudu se pak používají pro dimenzování ochranných komponentů (průřez vodičů, tloušťka stínění, proudová zatížitelnost přepěťové ochrany, dodržení bezpečné vzdálenosti proti jiskření). Na základě minimálních hodnot se odvozuje poloměr valící se koule³ pro stanovení zón ochrany před bleskem LPZ 0_B. [3]

LPL	Maximální hodnoty	
	Maximální vrcholová hodnota bleskového proudu	Pravděpodobnost, že hodnota bleskového proudu bude nižší než maximální hodnota bleskového proudu
I	200 kA	99%
II	150 kA	99%
III	100 kA	98%
IV	100 kA	95%

Tab. 1-2: Maximální hodnoty bleskových proudů a jejich pravděpodobnosti [7]

LPL	Minimální hodnoty		
	Minimální vrcholová hodnota bleskového proudu	Pravděpodobnost, že hodnota bleskového proudu bude větší než minimální hodnota bleskového proudu	Poloměr valivé koule
I	3 kA	99 %	20 m
II	5 kA	97 %	30 m
III	10 kA	91 %	45 m
IV	16 kA	84 %	60 m

Tab. 1-3: Minimální hodnoty bleskových proudů a jejich pravděpodobnosti [7]

³ nebo jiná konstrukční pravidla, v případě použití mřížové soustavy se jedná o rozpětí mříže

LPL je jedním z významných výpočetních parametrů řízení rizika, konkrétně při počítání odhadu pravděpodobnosti škody P_X . Při dané LPL se výrazně mění pravděpodobnostní koeficient. S LPL také souvisí úroveň systému ochrany před bleskem LPS, na níž závisí systém vnější ochrany před bleskem. Ty se také řadí od I. do IV. Na základě LPL a přítomnosti bleskových proudů/přepětí se také koordinuje typ přepěťové ochrany (třída T1, T2 apod.), jak je vysvětleno později v kapitole 1.5.6.

Poznámka:

V normách a v analýze rizika se lze setkat se dvěma pojmy: LPL a LPS. Analýza rizika přiřazuje třídu LPL a LPS I. až IV. k určitému maximálnímu bleskovému proudu. Z tohoto pohledu se jedná o stejnou záležitost. Když se hovoří o třídě LPS, jde o systém vnější ochrany před bleskem. Pokud je zmíněna třída LPL, je tím myšlen systém vnitřní ochrany před bleskem (svodiče přepětí různých kategorií). V analýze rizika pak vyjdou doporučená opatření zařazením stavby do třídy LPS, ze které se určuje jímací soustava (poloměr valivé koule apod.) a třídy LPL, ze kterých se určují vnitřní opatření proti přepětí.

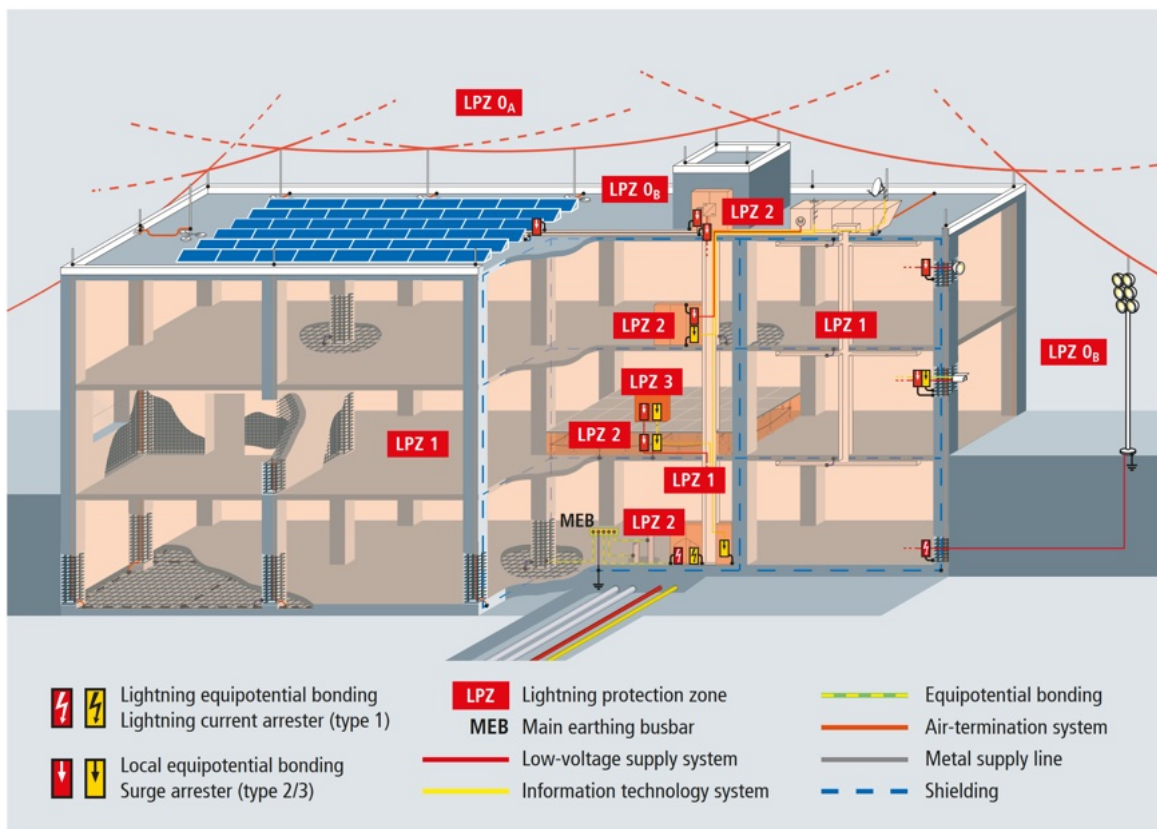
1.2.3 Zóny ochrany před bleskem

Elektrické a elektronické systémy včetně jejich sítí se ve stavebách ve dnešní době vyskytují ve větším množství než dříve. Nejedná se pouze o silovou elektřinu, ale také telekomunikace, zabezpečovací systémy a řídicí systémy, které jsou citlivé na elektromagnetické impulzy a přepětí. Tyto systémy vyžadují určitou ochranu proti rušení, zejména proti elektromagnetickému impulzu vyvolaném bleskem (LEMP). Vnější a vnitřek chráněného objektu se člení do více oblastí, podle úrovně rizika, které LEMP představuje. Kde a jak má být část stavby chráněná je určeno zónou ochrany před bleskem (LPZ). LPZ určují požadovaná ochranná opatření jako je například úroveň přepěťové ochrany nebo systém ochrany před bleskem (LPS). Díky LPZ lze lépe přizpůsobit ochrany elektrických a elektronických systému v jednotlivých oblastech vzhledem k odlišným rizikům LEMP. Dělení zón je následovné: LPZ jsou určeny ochrannými opatřeními jako jsou LPS, SPD, stínící vodiče nebo magnetická stínění. Rozlišují se následovně:

- **LPZ 0** je prostor s netlumeným EMP a vnitřní systémy mohou být vystaveny plným nebo částečným bleskovým proudům. Dělí se na části 0A a 0B.
- **LPZ 0A** je prostor s možným přímým úderem a plným elektromagnetickým polem blesku. Vnitřní systémy mohou být vystaveny plným nebo částečným proudům blesku.
- **LPZ 0B** je prostor chráněný před přímým úderem blesku, ale je hrozba plného elektromagnetického pole blesku. Vnitřní systémy mohou být vystaveny částečným impulzním proudům blesku.

- **LPZ 1** je vnitřní prostor, kde jsou impulzní proudy omezeny rozmístěním proudů, izolačním rozhraním nebo v případě nutnosti svodiči přepětí (SPD) na rozhraní zón.
- **LPZ 2 až n** jsou vnitřní prostory, kde jsou impulzní proudy omezeny rozmístěním proudů, izolačním rozhraním nebo SPD na rozhraní zón. Mohou mít přídavné prostorové stínění, které utlumí rušení elektromagnetického pole.

Bleskové proudy a jejich elektromagnetické proudy jsou hlavním zdrojem rušení zařízení a instalací. Odolnost zařízení vůči rušení závisí na izolační pevnosti, která jako samotná ochrana není obzvláště při hodnotách bleskových proudů ve všech případech dostačující. Z tohoto důvodu je zavedena přídavná zóna, která přináší další přídavná ochranná opatření. S dalšími LPZ roste útlum elektromagnetického pole blesku a dochází k poklesu intenzity magnetického pole. [7] Na Obr. 1-4 lze rozpoznat jednotlivá členění LPZ včetně přídavných vnitřních LPZ 2 a LPZ 3, které jsou opatřeny dalšími přepětíovými ochranami. Na základě zón lze pak rozdělit systém ochrany před bleskem (LPS) na **vnější LPS** (hromosvod a uzemnění) a **vnitřní LPS** (ochranné pospojování, svodiče bleskových proudů, svodiče přepětí).



Obr. 1-4 Zóny ochrany před bleskem (LPZ) [7]

1.3 Návrh systému ochrany před bleskem

Při navrhování nebo při revizi systému ochrany před bleskem musí být brány v úvahu rizika související s úderem blesku, ale také např. hašení požáru nebo povodně. Požadavky na ochranu před bleskem jsou vyžadovány legislativně. V páté části prováděcí vyhlášky 268/2009 Sb. ke stavebnímu zákonu 183/2006 Sb., je zmíněn požadavek na ochranu staveb před bleskem. Znění je však obecné a říká, že ochrana před bleskem musí být na takových stavbách nebo zařízeních, kde by blesk mohl způsobit určitá ohrožení: ohrožení života, výbuch, škody na majetku, ohrožení stavby apod. (podrobněji v samotné vyhlášce). Pro uvedené stavby jsou tato ohrožení a rizika provedena výpočtem řízení rizika dle normy ČSN EN 62 305-2 ed. 2. Každá stavba⁴ musí tedy mít provedenou analýzu rizika, nikoliv hromosvod.

1.3.1 Analýza rizika

Analýza rizika je relativně rozsáhlý výpočet, který je rozdělen do mnoha podsekcí, na jehož základě se stanoví ochrana stavby před bleskem. V praxi však projektant pracuje s výpočetními programy⁵, které značně uspoří čas a námahu. Výsledek je vyjádřen číslem R , které musí mít nižší hodnotu než předem stanovená hodnota *přípustného rizika* R_r . V případě, že je hodnota R vyšší, přidávají se ochranná opatření (zavedení hromosvodu, hasicí přístroje, přepětové ochrany, únikové východy, protipožární úseky apod.), která výslednou hodnotu R ve výpočtu zmenší. Analýza rizika stanovuje hladinu ochrany před bleskem LPL, resp. max. velikost bleskového proudu, který může úderem do stavby nastat. Úroveň ochrany (I. až IV.) pak určuje poloměr valivé koule a množství svodů stavby při návrhu jímací soustavy. [8] V případech s hořlavou krytinou a hořlavými stěnami je potřeba zřídít izolovaný, resp. oddálený hromosvod.

V praxi může vyvstávat otázka, zda je analýza rizika povinná. Analýza rizika by měla být provedena při každém zásahu do stavby a do instalace, protože se mění rizikové parametry. Ve chvíli, kdy se mění parametry stavby, které jsou uvažované ve výpočtu, je potřeba stavbu přehodnotit, zda nejsou potřebná další ochranná opatření. Typickým příkladem může být instalace SPD. Požadavky na typ SPD vyplývají z analýzy rizik, proto je potřebná. Stejně platí i pro instalaci FVE, jelikož se jedná o zásah do stavby např. z hlediska požární bezpečnosti. FVE zároveň mění potřebné parametry pro vnější ochranu před bleskem. Je proto důležitá koordinace projektu FVE s projektem hromosvodu.

⁴ Každá stavba, ale v případě, že je dle Zákona č. 183/2006 Sb. Zákon o územním plánování a stavebním řádu, ve znění pozdějších předpisů. Tedy ne stavby řídicí se dle dřívějších předpisů.

⁵ např. DehnSupport nebo Prozik od OEZ

Podle § 154 odst. (1) písmeno e) zákona č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů, je „Vlastník stavby povinen uchovávat po celou dobu trvání stavby dokumentaci jejího skutečného provedení, rozhodnutí, osvědčení, souhlasy, ověřenou projektovou dokumentaci, popřípadě jiné důležité doklady týkající se stavby.“ [9] Z toho vyplývá, že při každé změně na stavbě je potřeba aktualizovat projektovou dokumentaci dle skutečného stavu. Zároveň musí být dokumentace a její změny v souladu s novými zákony a normami. S tím pak souvisí i legislativní povinnost zřízení analýzy rizika i u starých budov, které byly vystavěny před rokem 2006, kdy analýza rizika nebyla vyžadována.

1.3.2 Výpočet minimálních vzdáleností

Součástí funkce hromosvodu je blesk také správně odvést do uzemňovací soustavy, aniž by došlo k přeskočení bleskového výboje na jinou vodivou část. Je nežádoucí, aby bleskový proud přeskočil např. na FV instalaci nebo jakékoli jiné zařízení, či vodivou část. Mezi hromosvodem, jímací soustavou a svody (blíže popsáno v části 1.4) a vodivými částmi musí být elektrická izolace, ta je obecně realizována dodržением minimální **vzdálenosti** značenou **s** (v metrech) a její obecný tvar je:

$$s = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_c \cdot l \quad (1-6)$$

kde:

- k_i koeficient závislý na zvolené třídě LPS (viz Tab. 1-4),
- k_m koeficient závislý na materiálu elektrické izolace (viz Tab. 1-5),
- k_c koeficient závislý na (částečném) blesk. proudu tekoucím jímači a svody (viz Tab. 1-6),
- l délka v metrech, měřena podélně jímací soustavy a svodu od bodu, kde je zjišťována dostatečná vzdálenost, k nejbližšímu bodu ekvipotenciálního pospojování nebo zemnicí soustavy.

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

Tab. 1-4: Izolace vnějšího LPS – koeficient k_i [10]

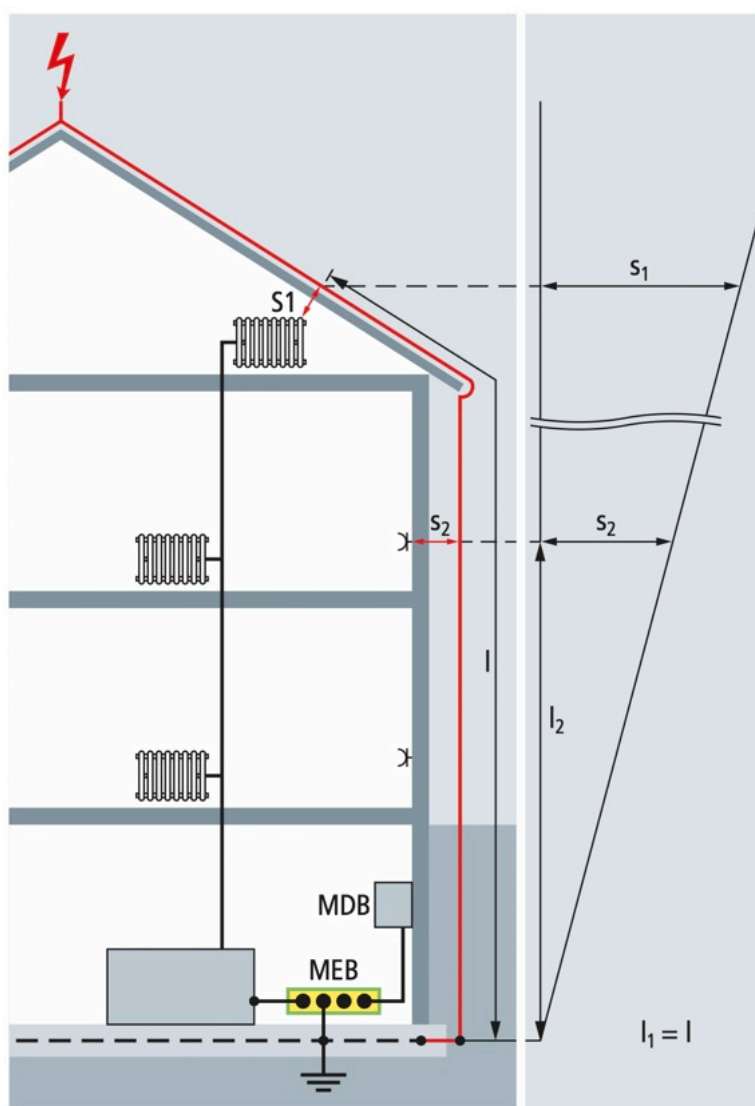
Materiál	k_m
Vzduch	1
Beton, cihla, dřevo	0,5

Tab. 1-5: Izolace vnějšího LPS – koeficient k_m [10]

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

Tab. 1-6: Izolace vnějšího LPS – koeficient k_c [10]

Je nutné zdůraznit, že se vzdálenost s mění v závislosti na bodu měření. V nejvzdálenějších bodech od uzemnění je největší. Dodržení vzdáleností se týká všech profesí, resp. všech vodivých částí.



Obr. 1-5: Přesková vzdálenost s , vliv délky měřeného úseku na vzdálenosti v jednotlivých bodech[7]

1.3.3 Shrnutí obecného postupu při návrhu systému ochrany před bleskem

- Vypracování analýzy rizika stavby dle ČSN EN 62305-2, ed. 2
- Návrh jímací soustavy a ověření ochranného prostoru metodou valivé koule nebo jinými metodami dle ČSN EN 62305-3, ed. 2 (FVE se nesmí nacházet v zóně LBZ 0A, musí být chráněna před přímým úderem blesku). V případě dostavení pouze FVE dodatečně je nutné vždy zkoordinovat FVE s hromosvodem.
- Výpočet dostatečných vzdáleností dle ČSN EN 62305-3, ed. 2 (v případě nedodržení – spojit a tím pádem přizpůsobit SPD), jedná se o dodržení vzdálenosti s proti přeskoku. Zároveň je třeba dbát na dodržení dostatečného odstupu jímacích tyčí, aby nedocházelo ke tvorbě plných stínů. Plný stín se na FVE projevuje snížením průchodu celkového proudu v řetězci. Může také zvyšovat namáhání článků a překlenovacích diod.
- Návrh SPD dle ČSN EN 62305-4, ed. 2, který je v souladu s navrženým hromosvodem (dodržená/nedodržená vzdálenost), viz předchozí bod.
- Vypracování projektové dokumentace ochrany před bleskem (kompletní PD, tak jak vyžaduje stavební zákon, resp. k němu prováděcí vyhláška č. 499/2006 Sb. Vyhláška o dokumentaci staveb).
- Vypracování rozpočtu, výkazu výměr, soupisu stavebních prací, dodávek a služeb.

Návrh musí být zkoordinován s FVE. Přítomnost FVE nesmí narušit ochrannou funkci, kterou má plnit hromosvod. Jímací soustava zamezuje přímým úderům blesku do panelů a propojovacích kabelů, panely se nachází v ochranné oblasti. Tato oblast je předurčena jednou z geometrických metod (např. metoda valivé koule) dle ČSN EN 62305-3, ed. 2, viz kapitola 1.4.1.

1.3.4 Ochranná opatření

Škody způsobuje zejména bleskový proud. K zabránění vzniku poškození a ztrát je doporučeno použití ochranných opatření (SPM), která zahrnují: Ochranná opatření pro omezení úrazů živých bytostí způsobených elektrickým proudem. Toho lze docílit izolací nechráněných vodivých částí, vyrovnáním potenciálu, resp. ekvipotenciálním pospojováním nebo také výstražnými prvky a fyzickými překážkami.

Proti bleskům a přepětí je použit systém ochrany před bleskem (LPS – lightning protection system) zahrnující následující funkce:

- jímací soustava,
- soustava svodů,
- uzemňovací soustava,
- elektrická izolace a dodržení přeskokových vzdáleností proti vnějšímu LPS,

- ekvipotenciální pospojování (EB – equipotential bonding),
- ochrany proti přepětí SPD.

Samotné elektrické a elektronické systémy mohou mít poruchu a způsobit poškození. Zařízení se také mohou mezi sebou ovlivňovat a mohou být poškozeny nebo nadměrně namáhány přepětím. Proto se doporučují další ochranná opatření ve formě např. magnetického stínění, opatření pro uzemnění a pospojení nebo zařazení přepěťové ochrany (SPD).

Typy ochranných opatření stavby jsou individuální. Záleží na lokaci a míře rizika vzniku škody, typu stavby. Podle rozsáhlosti možných vzniklých škod je potřeba zohlednit také ekonomické aspekty ochranných opatření, aby samotná ochrana nestála několikanásobně více finančních prostředků, než chráněný objekt nebo nepřesáhla možné vzniklé škody.

1.4 Vnější systém ochrany před bleskem

Úkolem vnějšího systému ochrany před bleskem (vnější LPS) je jímat přímé údery blesku do objektu a následné svedení bleskového proudu do země. Systém musí být proveden tak, aby při odvedení bleskového proudu do země nikde nedocházelo ke vzniku tepelných a mechanických škod nebo k jiskření. Musí být zkonstruován tak, aby nedošlo k úderu do objektu mimo vnější LPS (např. do střechy), ale v případě úderu do stavby zasáhlo pouze tento systém. Při svádění blesku do země se musí zohledňovat i riziko přeskoku na jiné vodivé části a instalace, to je zohledněno dodrženými vzdálenostmi s mezi rizikovými prvky a prvky hromosvodu. Existuje také nepřímé namáhání vodivých částí a instalací přes induktivní vazbu. Indukcí může vzniknout přepětí v instalaci. To je ošetřeno instalací správných svodičů přepětí a ekvipotenciálním pospojením.

LPS se skládá z jímací soustavy, soustavy svodů a uzemňovací soustavy. Samotné provedení těchto tří soustav závisí na výpočetní analýze rizik dle normy a na základě geometrického určení (viz ochranné metody v sekci 1.4.1). Samotné riziko závisí na ročním počtu blesků ovlivňujících stavbu, pravděpodobnosti poškození jedním úderem blesku a průměrným rozsahem ztrát. Pokud je řešená stavba v ochranném prostoru (LPZ 0B) vyšších staveb opatřených hromosvodem, není potřeba pro řešenou stavbu zřizovat vnější ochranu před bleskem. [10][6]

1.4.1 Jímací soustava

Úkolem jímací soustavy je zabránit úderu blesku přímo do objektu, přičemž má přijmout úder blesku a kontrolovaně ho skrze svody odvést do země. Součástí jsou jímací tyče, překlenuté dráty a kabely a mřížové vodiče. Prvky jsou obvykle z pozinkované oceli (FeZn) anebo slitiny hliníku (AlMgSi). Dráty mohou být navíc obaleny umělohmotným pláštěm. Při umístění jímací soustavy se musí brát důraz na rohy, okraje, ostré hrany a jiné vyčnívající objekty (komíny, vzduchotechnika, fotovoltaika apod.). Jak má být jímací soustava v prostoru rozmístěna lze

pomocí níže vypsaných metodami a analýzou rizika. Analýza rizika pracuje s požadavky normy a s geometrickými vlastnostmi chráněného objektu. [11] Střecha a všechny objekty na ní se musí nacházet v ochranné zóně LPZ 0B. V případě, že se jiné vodivé části nacházejí ve vzdálenosti menší než s , může dojít k přeskoku bleskového proudu. Tyto části je nutno spojit s hromosvodem a dodatečně chránit nebo je přesunout do bezpečné vzdálenosti.

Jako jímače nemusí být použity pouze objekty přímo k tomu určené (pomocné jímače, jímací tyče apod.). Jako části LPS lze použít i náhodných součástí z vodivých materiálů, které zůstanou součástmi v/na stavbě a nebudou změněny (vzájemně propojená výztuž, kovové opláštění stavby). [10]

Metoda ochranného úhlu se používá u objektů jednoduchých geometrických útvarů, jako jsou sedlové či stanové střechy. Používají se jednoduché jímací tyče a stavba by měla být celá v chráněné oblasti. Chráněná oblast je vymezená ochranným úhlem, pod jímací tyčí se jedná o oblast kuželovitého tvaru. Ta začíná v okolí jímače počínaje jeho nejvyšším bodem a pokračuje směrem dolů. Velikost ochranného úhlu závisí na třídě LPS a výšce jímací soustavy. Jímací tyče lze také spojit propojením jejich nejvyšších bodů kabelem a vymežit ochrannou oblast „stanovým“ tvarem.

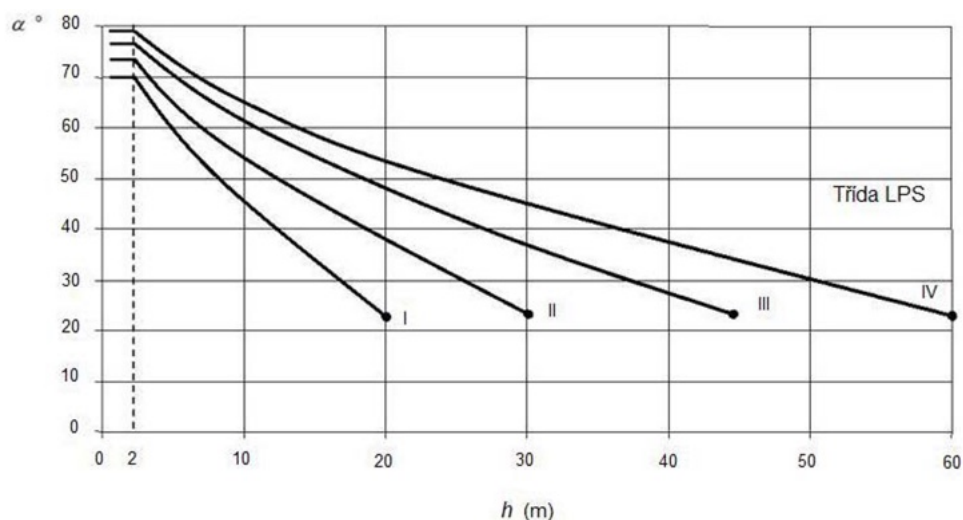
Metoda mřížové soustavy je obvykle užívána pro ochranu rovinných ploch (průmyslové objekty, bytové domy apod.). Může být použita nezávisle na výšce chráněného objektu a jeho tvaru. Jímací soustava je propojena do tvaru mříže a je vedena po okrajích, rozích, hřebenech a převisech staveb. Rozměry mříže neboli ok opět závisí na třídě LPS a čím je třída vyšší, tím je dostačující větší rozměr ok (dle ČSN EN 62 305-3 ed, 2). Jímací soustava musí být propojena s uzemňovací soustavou minimálně na dvou místech nejpřímější proveditelnou cestou. Velikost ok tvořící mřížovou soustavu závisí na třídě LPS viz Tab. 1-7 na str. 17.

Metoda valivé koule je univerzální výpočetní metoda. Koule o definovaném poloměru, který závisí na odpovídající třídě LPS, se převalí přes chráněný objekt. Koule se převalí ze všech stran objektu, přičemž se okraj valivé koule smí dotknout pouze jímací soustavy a mezi valivou koulí a chráněným objektem se musí nacházet minimálně 20 cm volného prostoru. V případě, že je tento prostor menší nebo se koule dotýká objektu, je potřeba jímací soustavu přizpůsobit a tyto chyby eliminovat (např. zvětšením délky jímačů nebo navýšením jejich počtu). V praxi se tato metoda navrhuje např. v AutoCADu ve 2D, kde se řez valivou koulí jeví jako kulová úseč. Objekt se rozdělí na dílčí části, kde bude poloha koule vymezena. Částmi objektu se vedou řezy, přes něž se koule povalí po všech okrajích ze všech pohledů. Při návrhu je ve výkrese na první pohled vidět, jaká opatření jsou potřeba na zabezpečení stavby.

U všech tří výše zmíněných metod závisí jejich parametry na třídě LPS, které jsou znázorněny v Tab. 1-7 níže. U metody ochranného úhlu se mění max. možná výška stavby spolu s úhlem, pod kterým jsou prvky stavby chráněny. U mřížové soustavy se se třídou LPS mění hustota ok jímací soustavy. U metody valivé koule se mění poloměr valící se koule přes chráněný objekt.

Třída LPS	Poloměr valící se koule r (m)	Velikost ok w_m (m)	Ochranný úhel α (°)
I	20	5x5	Viz Obr. 1-6 níže
II	30	10x10	
III	45	15x15	
IV	60	20x20	

Tab. 1-7: Mění se parametry ochranných metod v závislosti na třídě LPS [10]



Obr. 1-6: Mění se parametry metody ochranného úhlu v závislosti na třídě LPS [10]

1.4.2 Soustava svodů

Svodová soustava propojuje místo jímací a uzemňovací soustavu a podílí se na bezpečném odvedení bleskového proudu do země. Počet svodů a vzdálenost mezi nimi je určen velikostí stavby a třídou LPS, resp. počet svodů a rozmístění svodů závisí na analýze rizika, která se vyhodnocuje výpočtem dle normy ČSN EN 62 305-2. Maximální vzdálenosti mezi svody závislé na třídě LPS jsou vyobrazeny v Tab. 1-8 níže. Tato vzdálenost však není striktní a norma ČSN EN 62 305-3 dovoluje 20% toleranci. Svody musí být vedeny nejkratší možnou cestou při splnění bezpečnostních podmínek, tzn. musí se zohlednit vodivé části stavby anebo přítomnost elektroinstalace. Při svádění proudů se nesmí ze svodu na jiné vodivé části dojít k přeskočení bleskového proudu, musí tedy být dodržena vzdálenost s . Na vodivých částech musí být provedeno vyrovnání potenciálů ochranným pospojováním.

Lze využít i náhodných svodů, jsou-li splněné stejné podmínky jako jsou kladené na svody. Jako náhodné svody se dají použít např. kovové instalace (potrubí), kovový skelet stavby nebo kovové konstrukce fasády.

LPS	Vzdálenost mezi svody [m]
I	10
II	10
III	15
IV	20

Tab. 1-8: Maximální vzdálenosti mezi svody dle třídy LPS [10]

1.4.3 Uzemňovací soustava

Uzemňovací soustava zajišťuje spolehlivý přechod svedeného bleskového proudu do země. Musí být propojena s ekvipotenciální přípojnici, resp. s vnitřním systémem ochrany před bleskem. V ideálním případě je pro stavbu zřízen jeden uzemňovací systém pro širší účely (ochrana před bleskem, silnoproudé a telekomunikační systémy). Systém nesmí překročit hodnotu zemního odporu **10 Ω**, v praxi se obvykle hodnota pohybuje kolem 7 až 8 Ω. Dělí se na uspořádání typu A, B a náhodné zemniče. [10]

Uspořádání typu A se skládá ze strojeného vodorovného nebo svislého zemniče nebo jejich kombinací a je instalován vně chráněné stavby. Je uložen v zemi s vyčnívajícím horním koncem alespoň 0,5 m nad povrchem. Typicky se může jednat o dodatečné uzemnění stavby, která jej v minulosti neměla. V praxi se jedná o zemní kolíky, které jsou v zemi spojené páskem. V případě nesplněné podmínky zemního odporu se kolíky dodatečně přidávají.

Uspořádáním typu B je buď obvodový zemnič vně chráněné stavby uložený v zemi nebo základový zemnič. Obvodový zemnič je alespoň z 80 % uložen v zemi a nachází se alespoň 0,5 m hluboko a 1 m daleko od vnější zdi stavby. Základový zemnič je vodivá konstrukce v betonovém základu, která je koncovým prvkem uzemnění. Ukládá se do betonu a obvykle tvoří uzavřenou smyčku, může se však ukládat i svisle ve formě tyčí. Používaným materiálem je pozinkovaná ocel nebo měď. Nelze však jednoznačně určit typ a provedení zemniče. Záleží zde na vodivosti země v oblasti, vlhkosti a mechanickém namáhání.

Náhodné zemniče mohou být ocelová armování v betonových základech nebo jiné vhodné vodivé součásti. Musí však splňovat stejné požadavky, které jsou kladené na strojené zemniče. Dovolují-li parametry použití náhodného zemniče, je tento typ upřednostňován.

Hodnota zemního odporu dle ČSN EN 62305-3 ed. 2, nesmí přesáhnout hodnotu 10Ω (oproti dřívější normě ČSN 34 1390 15Ω). Počet svodů závisí na úrovni LPS (viz Tab. 1-8: vzdálenosti 10, 15, 20 m mezi svody). V ČSN EN 33 2000-4-41 ed. 3 v každém objektu musí být hlavní ochranné pospojení. Ochranný vodič v rozvaděči je přizemněn k zemniči. Každý zemnič by měl být opatřen zkušební svorkovnicí. Každý svod musí být označen a zdokumentován pro přehlednost.

1.5 Vnitřní systém ochrany před bleskem

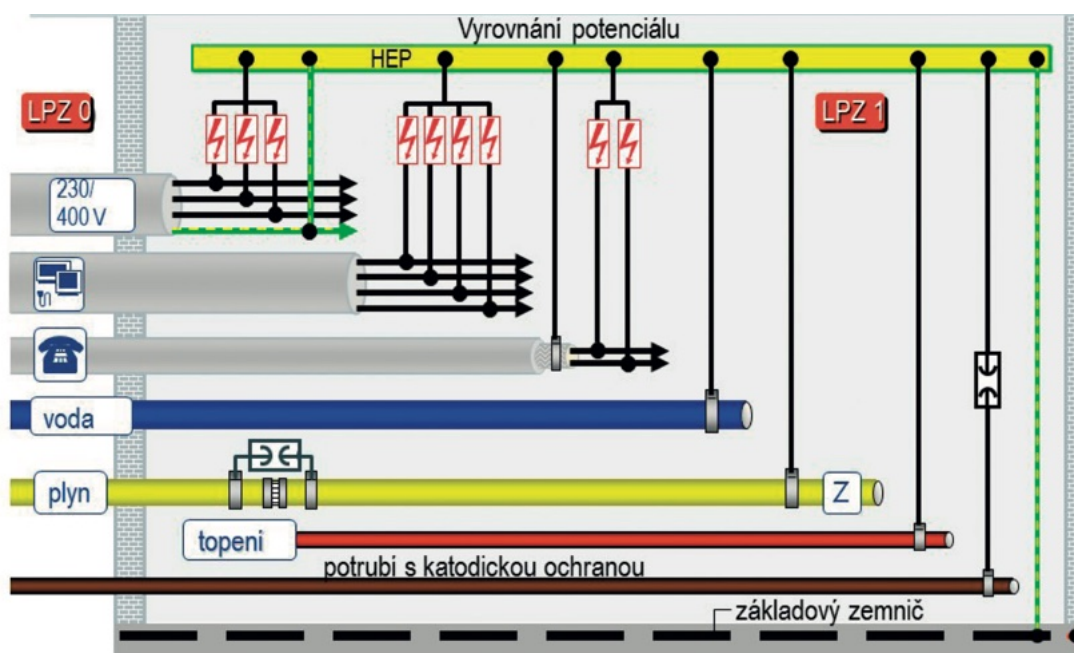
Úkolem systému vnitřní ochrany před bleskem (vnitřní LPS) je zabránit jiskření uvnitř stavby a vzniku nebezpečného dotykového napětí na neživých vodivých částech. To je docíleno buď ekvipotenciálním pospojováním nebo dodržením bezpečné vzdálenosti s mezi částmi LPS a vodivými prvky uvnitř stavby. Za tyto prvky se považuje veškerá elektroinstalace, kovové konstrukce, kovové trubky a cokoliv jiného, kde by mohlo dojít k přeskočení bleskového proudu. Proti indukovanému přepětí mohou být použita opatření typu magnetického stínění nebo optimalizace trasy vedení. Aby přepětí nešlo skrz elektrická zařízení, využívá se na rozhraních zón LPZ také koordinovaných přepět'ových ochran (SPD).

1.5.1 Ekvipotenciální pospojování

Ekvipotenciální pospojování vyrovnává potenciál a eliminuje vznik dotykového napětí na neživých částech, např. ochranným pospojením vyrovná potenciál mezi zemí a kovovým potrubím dodávající vodu do radiátorů v případě poruchy. Je provedeno formou hlavní ekvipotenciální přípojnice (MET⁶), která má funkci uzlu pro všechny potenciálně vodivé části. V případě potřeby, např. u velkých rozlehlých objektů, se mohou dodatečně zavádět přídatné ekvipotenciální přípojnice, všechny musí být však propojeny a musí být přístupné pro revizi. Každá stavba musí mít zřízenou MET a její uzemnění je provedeno spojením se základovým zemničem. [12] V případě, že stavba nemá základový zemnič (uspořádání B) je potřeba spojit MET s jinou uzemňovací elektrodou, např. se zemnicími kolíky nebo tyčemi (uspořádání A), které splňují stejné podmínky pro uzemnění. Důležité je, aby hodnota zemního odporu nepřekročila **10Ω** , případě nesplnění je potřeba dodat větší množství zemnicích tyčí nebo pásku.

⁶ main earthing terminal, dříve také značeno HOP – hl. ochranná přípojnice

Mezi částí, které musí být spojeni s MET patří veškeré ostatní instalace, kde by mohlo nastat dotykové napětí. Jedná se např. antény, trubky pro vytápění a přívod plynu, vodovodní a odpadní trubky nebo informační systémy. Případně se vzájemné spojení provádí s přepětovou ochranou v místech, kde není možné přímé připojení vodiči. V místech, kde není dovoleno přímé připojení vodiči s MET, se spojení provádí s oddělovacím jiskřištěm ISG. Odpor vodičů a jejich přechodových odporů se měří mezi bodem uzemnění a svorkou hlavního uzemnění, kde je vodič PE oddělen od PEN. Měří se od svorkovnice proti všem vodivým částem (kolíky, rámy panelů, trubky apod.). Velikosti odporů nesmí překročit hodnotu $0,1 \Omega$, přičemž se běžně hodnoty pohybují okolo jednotek až desítek m Ω . Toto měření je součástí výchozí revize elektroinstalace objektu nebo fotovoltaiky.



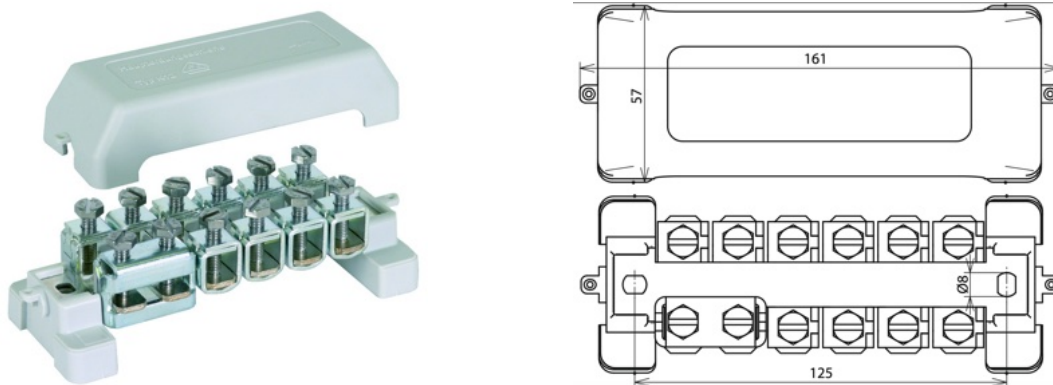
Obr. 1-7: Vyrovnání potenciálu bleskového proudu na vstupujících vodičích všech profesí [13]

Ekvipotenciální pospojování je provedeno zelenožlutými vodiči CY⁷ nebo CYA⁸ s min. průřezem 6 mm² Cu (10 mm² Al nebo 16 mm² ocel). Tyto vodiče jsou u strany přípojnice obvykle zakončeny kabelovým okem a u strany živé části dle vyhovujícího tvaru (svorky, objímky na trubky apod.). Spojení přípojnice a uzemňovací soustavy je provedeno 16 mm² Cu (25 mm² Al nebo 50 mm² ocel). Velikost průřezu mezi ostatními částmi závisí na velikosti přítomného poruchového proudu a ne/dodrženou přeskokovou vzdáleností.

⁷ Dle nové normy je správně značen jako H07V-U, nicméně se v praxi stále používá starší označení CY

⁸ Dle nové normy je správně značen jako H07V-K, dle staršího a stále používaného se značí CYA

MET zajišťuje spolehlivý spoj všech přivedených vodičů, jedná se o svorku s větším množstvím nastavitelných přívodů pomocí utahovacích šroubů. Svorka má min. rozměry (4x10 mm) jako plochý vodič nebo vodič s kruhovým průřezem (\varnothing 10 mm). K tomuto vodiči jsou napasovány přívody s utahovacími šrouby, kde musí mít min. 6 nastavitelných přívodů pro 6 až 25 mm², 1 x 2,5 mm² až 6 mm² a 1 x plochý vodič do rozměrů 30x4 mm nebo 1 x kruhový vodič průměr 8 až 10 mm s průřezem do 50 mm². Přípojníci lze realizovat samostatně nebo může být umístěna v rozváděči.

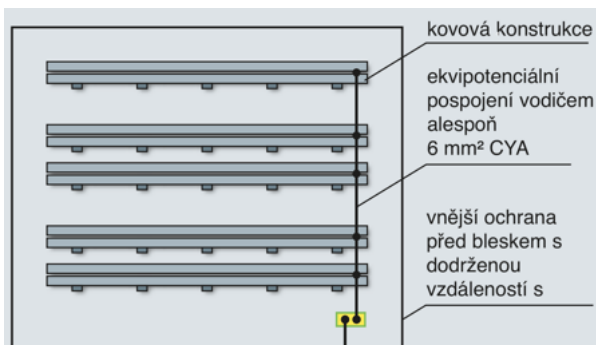


Obr. 1-8: Příklad ekvipotenciální přípojnice K12 s násuvnými svorkami [14]

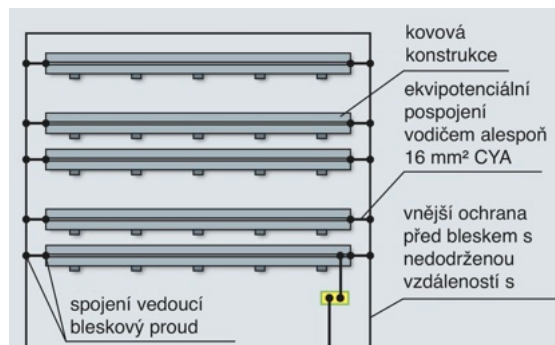
1.5.2 Vyrovnání potenciálu fotovoltaického systému

U fotovoltaických elektráren musí být ochranné pospojování provedeno obdobně jako u jiných vodivých částí. Hliníkový rám panelu je galvanicky spojen s hliníkovým profilem skrze příchytky. V případě plechových střech bývají konstrukce galvanicky propojeny i se střechou. Hliníkové profily jsou mezi sebou propojeny zelenožlutým vodičem CYA s min. průřezem 6 mm², záleží však na přítomnosti bleskového proudu nebo jen indukovaného přepětí. Ochranný vodič na podružnou ochrannou přípojnici (POP), která je spojena s MET. DC vodiče z FVE jsou na potřebných místech (RFVE případě rozhraní LPZ 0/LPZ 1) přivedeny na přepětovou ochranu, která je spojena skrz ochranný mechanismus s PE vedoucí na ekvipotenciální přípojnici.

Na obrázcích níže jsou vidět dva případy provedení ekvipotenciálního pospojování. Pokud je dodržena přeskoková vzdálenost s od hromosvodu, stačí propojit vodičem CYA 6 mm² (obr. vlevo). V případě nedodržené vzdálenosti s je FV systém galvanicky propojen s hromosvodem (obr. vpravo). Z tohoto důvodu se musí uvažovat s přítomností bleskového proudu a tím pádem provést ochranné pospojování pomocí CYA s min. průřezem 16 mm².



Obr. 1-9: Ochranné pospojení hliníkových profilů pro FV panely, soustava s dodrženou přeskokovou vzdáleností s [7]



Obr. 1-10: Ochranné pospojení hliníkových profilů pro FV panely a nutné propojení s hromosvodem v případě nedodržení přeskokové vzdálenosti s [7]

1.5.3 Svodiče přepětí

Svodiče přepětí (SPD), nazývané také jako přepět'ové ochrany, je elektrický přístroj v elektroinstalaci užívaný k ochraně elektronických zařízení proti přepětí. Jsou součástí systému ekvipotenciálního pospojování. Používají se u živých částí instalace. SPD zároveň chrání zbytek elektroinstalace před poruchami elektrozařízení v případech, kdy vytvářejí spínací přepětí.

Existuje více typů svodičů v závislosti na typu proudové vlny. Princip funkce je založen na přítomnosti napět'ově závislého prvku. Prvek je běžně napět'ově závislý odpor (varistor) anebo jiskřiště. V provozu bez přepětí má SPD velkou impedanci a obvod se chová jako rozpojený. V případě přepětí přístroj v potřebný okamžik zmenší svou impedanci na hodnotu blízkou nule a odvede proudovou vlnu do země. Reakce svodičů bývá v řádech jednotek až desítek nanosekund.

Princip funkce by se dal přirovnat např. k přetlakovému ventilu v bojleru. V normálním stavu neprochází ventilem žádná pára, dojde-li však k poruše vedoucí k přetlaku v nádobě, odvede se přebytečný tlak ventilem.

SPD se dělí do tří kategorií:

- svodiče bleskových proudů na proudové vlny 10/350 μs typ 1 (T1, původní ozn. B),
- svodiče přepětí na proudové vlny 8/20 μs typ 2 (T2, původní ozn. C),
- svodiče přepětí na proudové vlny 8/20 μs a 1,2/50 μs typ 3 (T3, původní ozn. D).

Svodiče bleskových proudů T1 jsou použity k odvedení proudové vlny 10/350 μ s odpovídající bleskovým proudům. Obvykle využívají jiskřiště v plynném prostředí. Když se v instalaci vyskytne hodnota přepětí převyšující zapalující napětí mezi elektrodami ve svodiči, dojde k zapálení oblouku, odvedení bleskového proudu do země a jeho zhašení. V případech, kde jsou očekávány nižší hodnoty bleskových proudů s průběhem 10/350 μ s, jsou v T1 použity výkonové varistory. V dnešní době je modul T1 často v kombinaci s T2 (Kombinovaný svodič přepětí T1+T2, někdy značen stále jako B+C).

Svodiče přepětí T2 fungují na stejném principu jako T1, přičemž jejich nelineární napěťově závislá součástka je polovodičová součástka. Nejčastěji je používán obvykle varistor na bázi oxidu kovu (MOV). Můžou být však případy, které využívají principu jiskřiště pomocí plynové výbojové trubice (GDT). Třída 2 odvádí přepětí s proudovou vlnou 8/20 μ s.

Při přepětí se výrazně zmenší impedance blízko k nule a proud je sveden skrz svodič přepětí. Vzniklý oblouk je vtažen do zhašecí komory. Oblouk je v zhašecí komoře ohraničen a uhašen tak, že se rozdělí do několika dílčích oblouků. V případě poruchy varistoru se aktivuje signalizace poruchy, kdy je potřebná výměna svodiče. [15]

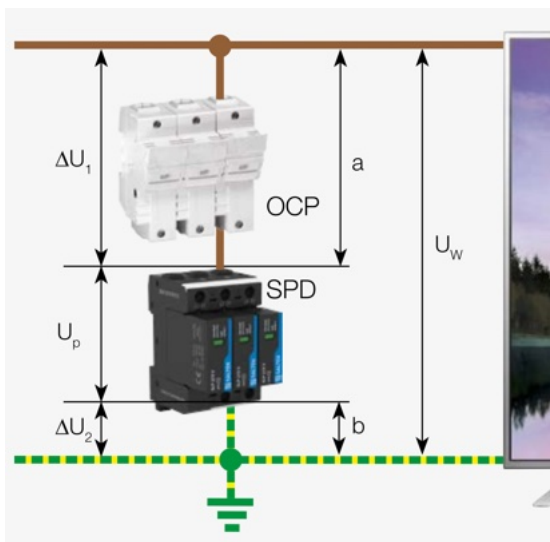
Svodiče třídy 3 se vyskytují v zásuvkách nebo v koncových spotřebičích. Obvykle se zapojují těsně před chráněné zařízení. Jsou dimenzovány na přepětí s proudovou vlnou 8/20 μ s a 1,2/50 μ s s menšími vrcholovými hodnotami ve srovnání s předchozími třídami. Technologií je zde také polovodičová součástka jako u T2.

Při montáži přístroje je důležité dodržovat požadavky kladené v technickém listu. Jedním z nich je minimalizování vzdáleností přístroje mezi přívodem a uzemňovací přípojnici. Při chránění elektrických zařízení je nutno zohlednit jejich hodnotu výdržného napětí U_w . Ta musí být vyšší než očekávané napětí na svorkách. Při poruše se na zařízení projeví úbytek daný ochrannou napěťovou hladinou SPD U_p sečtený s úbytky na připojovacích vodičích ΔU_1 a ΔU_2 . Pro úbytky na vodičích platí:

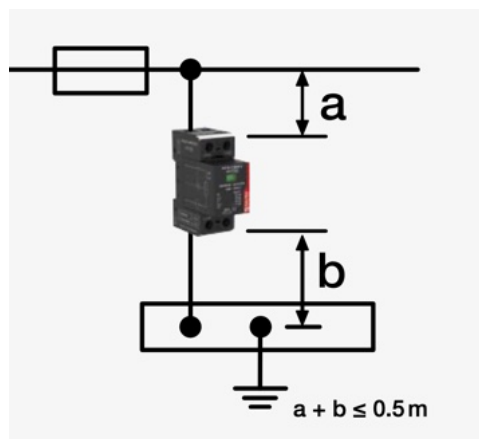
$$\Delta U = L \cdot \frac{di}{dt} \quad (1-7)$$

Např. při strmosti náběžné hrany pulzu 1 kA $\cdot \mu$ s⁻¹ a impedanci připojovacího vodiče 1 μ H na 1 m délky vodiče (pro vysokofrekvenční proudy) se na metru vodiče projeví úbytek 1000 V. Z tohoto důvodu se omezuje délka připojovacích vodičů na 0,5 m. Zároveň by součet dílčích úbytků napětí neměl být větší než 80 % výdržného napětí U_w na svorkách technologie [16] [17]:

$$U_w > \frac{U_p + \Delta U_1 + \Delta U_2}{0,8} \quad (1-8)$$

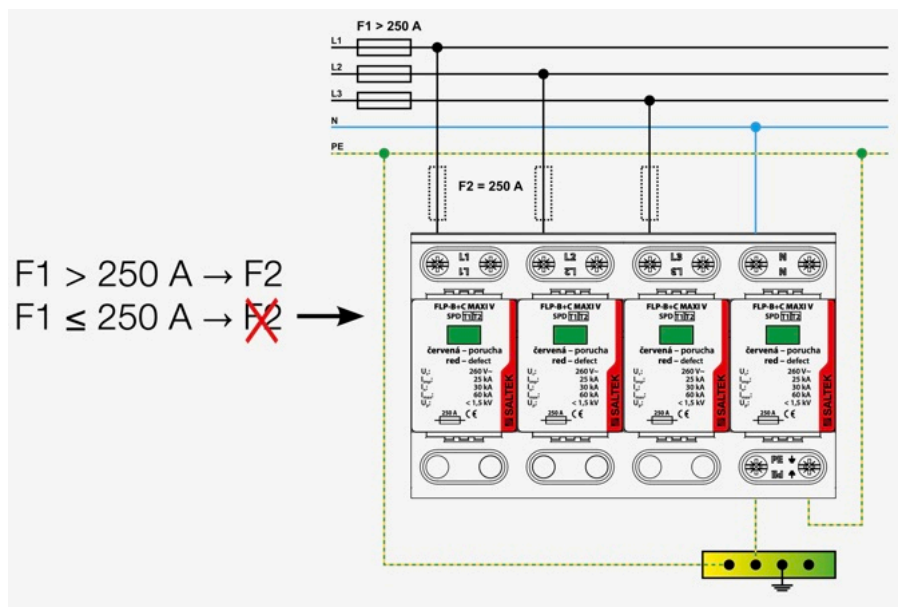


Obr. 1-11: Součet dílčích úbytků na svorkách chráněného zařízení [16]



Obr. 1-12: Maximální délky připojovacích vodičů svodiče přepětí [16]

Dále SPD musí mít předjištění, ať už v rámci rozváděče⁹ nebo samotné jištění přepět'ové ochrany. V katalogovém listu je zadaný parametr *max. hodnota předjištění* v Ampérech. Je vyžadováno jištění pojistkou typu gL/gG. V případě, že jištění rozváděče překračuje tuto hodnotu, je z důvodu selektivity nutné zavést vlastní jištění SPD. Některé ochrany mají předjištění zabudované již v přístroji, je však nutné tuto skutečnost ověřit. Na Obr. 1-13 je zapojení SPD v síti TN-S (resp. TN-C-S) s případným dodatečným předjištěním na paralelní větvi (F2).



Obr. 1-13: Předjištění SPD v síti TN-S, zapojení x+4 [16]

⁹ Ve většině případech je dostačující jištění pojistkami v pojistkové skříně na začátku instalace stavby.

SPD se umísťuje rozváděčů na DIN lištu, obvykle co nejbližšie prívodnímu kabelu a zapojuje se paralelně k napájecímu obvodu. SPD mají optickou signalizaci na čele přístroje značící případný stav poruchy. Někteří výrobci nabízejí také možnost s bezpotenciálovým kontaktem dálkové signalizace (DEHNshield FM produkty). Na Obr. 1-14 níže je zobrazený typicky instalovaný svodič přepětí pro síť TN-C, který se umísťuje na rozhraní zón LPZ 0 a LPZ 1. V praxi to znamená, že se zapojí např. za hlavní vypínač v hlavním rozváděči před vnitřní elektrické rozvody. Tento kombinovaný svodič obsahuje jiskřiště pro bleskové proudy i varistor na přepětí.

SPD na AC sestávají ze tří (sít' TN-C) nebo ze čtyř (sít' TN-S) modulů, odvádějících přepětí pro každou fázi zvlášť. V případě poruchy není potřeba měnit celý přístroj včetně osazení, nýbrž pouze poškozený modul, který lze samostatně vyjmout.



Obr. 1-14: Kombinovaný svodič přepětí Saltek T1+T2 (B+C) [18]

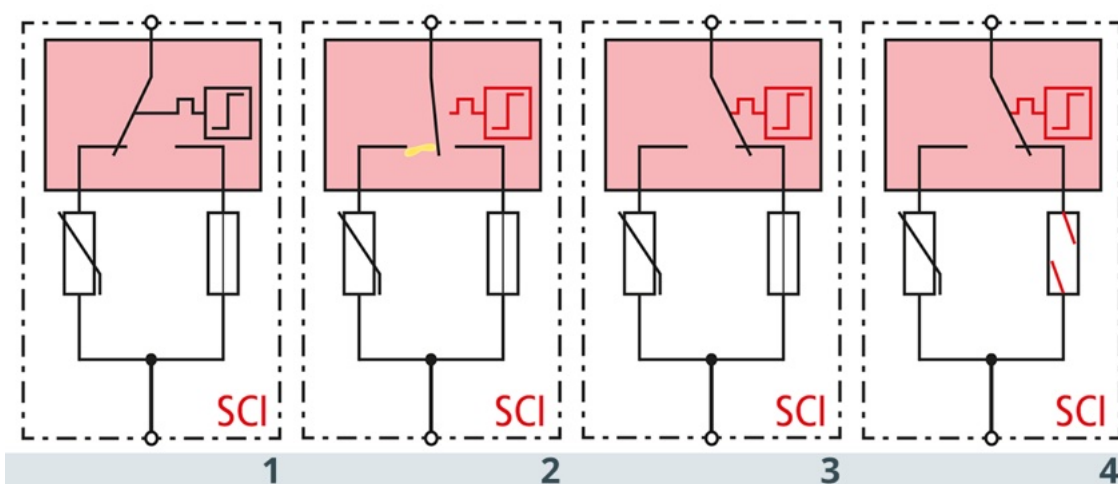
1.5.4 Přepět'ové ochrany pro fotovoltaické systémy

SPD pro fotovoltaické systémy mají primárně chránit elektroinstalaci na DC straně a zároveň zabránit šíření přepětí hlouběji do instalace. Přepětí se mohou šířit oběma směry, mohou nastat směrem od panelů (úder blesku, porucha) tak i směrem od střídavé instalace (spotřebiče, spínací přepětí v distribuční síti). V případě druhém by však přepětí měla odvést přepět'ová ochrana na střídavé straně střídače nebo na vstupu instalace do budovy. Je potřeba chránit zejména měniče (MPPT + střídač) a bateriový systém, jelikož se jedná o nejdražší a nejchoulostivější prvky instalace FVE. SPD se primárně dává blíže ke střídači z důvodu menšího impulzního výdržného napětí v porovnání s panely. Pokud by nastala porucha od střídače nebo ve vzdálenosti od panelů, jsou panely před přepětím také chráněny.

Principiálně se jedná o stejnou technologii jako u SPD na střídavé straně sítě (varistory, jiskřiště nebo jejich kombinace). Jsou na ni však kladeny přísnější nároky a platí pro ni odlišné standardy, podle kterých jsou navrženy. Oproti SPD na AC, které jsou navrhované na nižší hodnoty napětí (230 V AC) musí DC SPD odolávat jmenovitá provozní napětí dosahující až 1500 V DC. V případě vzniku oblouku je jeho zhášení obtížnější, protože DC neprochází nulou. Oblouk díky tomu může hořet delší dobu a zvyšuje riziko vzniku požáru.

Účelem SPD není odpojit obvod jako u nadproudových a zkratových ochran, které jsou oproti SPD na vznik oblouku navrženy. Oblouk však může nastat v případě přetížení nebo poruchy SPD. Pokud se ochrana přetíží, např. při přehřátí varistoru nebo jeho stárím, ochranný mechanismus vyhodnotí toto přetížení a rozpojí obvod. S rozpojením se spustí i optická signalizace na čele přístroje, aby informovala o potřebě výměny modulu. V takovém případě může během přepětí mezi kontakty vzniknout oblouk, který může způsobit požár. Vzhledem k tomu, že je FVE stále pod napětím, musí být DC svodič houževnatější kvůli obtížnějšímu zhášení oblouku stejnosměrného charakteru. V případě poruchy mají DC SPD dodatečná ochranná opatření (např. zhášecí komůrku).

Tuto skutečnost řeší např. patentovaná technologie SCI (short circuit interruption – přerušení zkratového proudu) firmy DEHN & SÖHNE. Tento mechanismus zároveň chrání SPD před zkraty. V případě přetížení (teplem nebo stárím) varistoru dojde k jeho odpojení a přepojení na druhý kontakt s pojistkou. Oblouk, který při přepojení vznikne je zhašen ve zhášecí komoře. Pojistka na druhé větvi se chová jako bezpečnostní odpínač. Poruchový proud bezpečně odvedeno skrz druhou větev. Po tomto přepojení je potřeba modul SPD vyměnit za nový.



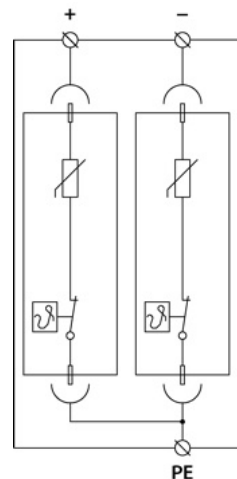
Obr. 1-15: DC svodič přepětí s technologií SCI [19]

SPD sestává z většího množství modulů. Každý modul je zkonstruován na určitou hodnotu napětí. Pokud je vyžadována vyšší hodnota napětí, je potřeba moduly skládat do série. V katalogovém listu je napsáno, jak jsou tyto moduly propojeny. Často se vyskytuje Y nebo U zapojení.

U zapojení je používáno s řetězci menších napětí u SPD typu 2, kde jsou dostačující pouze dva moduly. Druhým případem využití jsou pak robustnější SPD typu 1 na bleskové proudy, které jsou složeny ze čtyř modulů (2 v sérii pro každý pól).



Obr. 1-16: SPD T2, dvoumodulové provedení – zapojení do U [20]

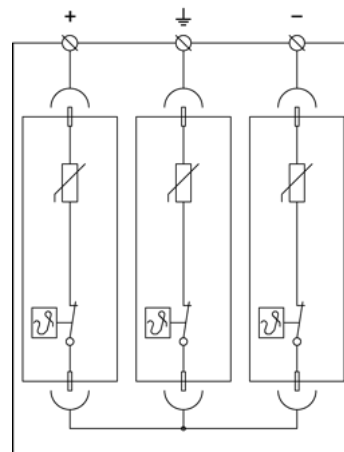


Obr. 1-17: SPD T2, schéma zapojení do U [20]

Zapojení do Y je užíváno u SPD typu 2 pro vyšší hodnoty napětí. Na Obr. 1-18 se nachází tři modulové provedení do Y . Každý modul má v tomto případě hodnotu provozního napětí 750 V. Nejprve jsou oba póly zapojeny skrz jeden modul na jeden uzel, třetí modul už sdílí společně. Důsledkem zapojení je pak docíleno provozního napětí 1500 V pro každý pól.



Obr. 1-18: SPD T2, tři modulové provedení, zapojení do Y [21]



Obr. 1-19: SPD T2, schéma zapojení do Y [21]

1.5.5 Výběr vhodné SPD na DC straně PV systémů

Volba maximálního jmenovitého provozního napětí DC SPD se navrhuje dle napětí příslušného FV řetězce (stringu) naprázdno, který je přístrojem chráněn. Požadavkem na základě normy je, že hodnota jmenovitého napětí SPD musí být alespoň 1,2 násobek napětí stringu naprázdno [22]:

$$UCPV \geq 1,2 \cdot U_{ocSTC} \quad (1-9)$$

kde:

$UCPV$ provozní napětí SPD
 U_{ocSTC} napětí FV řetězce naprázdno při standardních testovacích podmínkách (STC - standard testing conditions)

Poznámka:

Norma ČSN CLC TS 50539-12 stanovuje tuto podmínku za standardních testovacích podmínek (STC). Nicméně je třeba brát v úvahu i růst/pokles napětí naprázdno s klesající/rostoucí teplotou. Teplotní koeficient může být např. $-0,26/^{\circ}\text{C}$. Při volbě nejvyššího provozního napětí svodiče je potřeba si mimo toleranci 20 % ohlídat, jakým teplotním výkyvům (případně až extrémům) mohou být moduly v daném prostředí vystaveny. Např. v oblastech s nižšími teplotami může být nutné tuto toleranci navýšit.

1.5.6 Koordinace jednotlivých stupňů ochrany SPD

Pro správnou funkčnost přepětových ochranných přístrojů je nutné mít všechny typy SPD v objektu mezi sebou zkoordinované. Při špatné koordinaci nemusí dojít ke správnému odvedení přepětí, v horším případě může dojít k poškození SPD nebo ohrožení elektrických zařízení. Přepětové ochrany musí být odstupňované tak, aby postupně omezovaly napětí až na takovou úroveň, která elektrická zařízení neohrozí.

Vzhledem k většímu množství výrobců SPD na trhu nelze jednoznačně stanovit stejné koordinační podmínky, které budou platit pro všechny přístroje. Je doporučeno se držet pokynů výrobce. Dalším doporučením, kterým se může omezit větší množství chyb a zaručit potřebná koordinace je použití SPD od jednoho výrobce v celé elektroinstalaci.

Obecně se musí mezi jednotlivými stupni T1, T2 a T3, dodržovat minimální vzdálenosti:

- mezi T1 a T2 minimální vzdálenost 10 m,
- mezi T2 a T3 minimální vzdálenost 5 m.

Pokud vzdálenost nelze dodržet, je potřeba mezi ně vložit vazební impedanci (u Saltek je to RTO), která zaručí správný chod mezi stupni. Podmínka vzdáleností je však obecná a u SPD některých výrobců vzdálenost už není třeba dodržovat, protože ochrany jsou mezi sebou zkoordinovány již od výroby, viz veškeré kombinované svodiče přepětí T1+T2.

DC SPD u FV systémů musí být přepětová ochrana v blízkosti měniče, protože je jeho impulzní výdržné napětí U_{imp} výrazně nižší než U_{imp} panelů. Střídač je tedy chráněn z obou „stran“ v rozváděči v jeho blízkosti. Pokud je DC kabeláž od střídače k panelům větší než 10 m, je potřeba osazení další DC SPD, která se obvykle umísťuje do SPD boxu na rozhraní LPZ 0/LPZ 1 v blízkosti panelů.

Měnič musí být chráněn ze stejnosměrné strany a ze střídavé strany přístroji v rozváděči fotovoltaiiky (RFVE). Vstupující instalace do stavby musí být osazena vždy kombinovaným svodičem přepětí T1+T2. Zde je uvažováno, že se nachází v hlavním rozváděči (RH), ale může se nacházet např. i před RH (elektroměrový rozváděč, pojistková skříň). Záleží vždy na umístění jednotlivých rozváděčů. Účelem je chránit vnitřní elektrické rozvody. Nastane-li případ, že se RFVE a RH nachází blízko sebe, např. ve stejné technické místnosti, a v RH je kombinovaný svodič, není třeba osazovat AC SPD i do RFVE. Ochrana měniče a RFVE z AC strany je opatřena již blízkým svodičem v RH.

1.5.7 Povinnost instalace přepětových ochran

V praxi vyvstává otázka, zda je instalace přepětových ochran SPD povinná. Legislativa explicitně nevyslovuje povinnost instalace přepětových ochran, z tohoto důvodu mohou vznikat určité pochybnosti. Účelem této sekce je dospět k názoru, že přepětové ochrany by měly být na stavbách instalovány vždy.

Pro projektanta i spotřebitele je potřeba situaci brát i z více úhlů pohledů. Je zde technická stránka, ochrana proti poškození zdraví a majetku a hledisko pojištění + hrazení případných škod. Mnohá elektrická zařízení mohou být finančně nákladná, proto se pojišťují. Pokud je poškozená část pojištěna, bude pojišťovna vyhodnocovat správnost ochrany před bleskem. Správným provedením ochrany chrání spotřebitel, zařízení před potenciálním poškozením. Při poškození ji pojištěním chrání před dodatečnými výdaji z vlastních finančních zdrojů za opravu.

V prováděcí vyhlášce č. 268/2009 Sb. Vyhláška o technických požadavcích na stavby v páte části v § 36 je zmíněna povinnost ochrany před bleskem tam, kde by blesk mohl způsobit různá ohrožení. Dále je v odstavci 2 uvedena povinnost výpočet řízení rizika dle normy ČSN EN 62305 část 2 – Analýza rizika. [8]

V normě ČSN EN 33 2000-1 je v části 131.6.2 stanoveno, že osoby, hospodářská zvířata i majetek musí být chráněny před poškozením v důsledku přepětí, které vzniká z atmosférických vlivů nebo ze spínacích procesů. [23]

Norma ČSN EN 33 2000-4-443 ed. 3 stanovuje povinnost instalace SPD, pokud stavba nemá zhotovenou analýzu rizika. Také předepisuje ochranu před přepětím v případě zařízení, u kterých je pravděpodobné, že budou vytvářet spínací přepětí nebo rušení překračující dovolené hodnoty. [24]

V připojovacích podmínkách na distribučním území např. ČEZ Distribuce, a.s. je v dokumentu *Obecné podmínky připojení k distribuční soustavě (OPPDS)* v sekci V. číslo 9 zmíněno, že „zákazník je povinen chránit spotřebiče připojené do odběrného zařízení dle Smlouvy o Připojení (SoP), které jsou citlivé na přepětí dostupnými stupni přepětových ochran dle příslušných právních předpisů, technických norem a pokynů výrobce“. [25]

Pokud se pojišťuje proti přepětí, ať v rámci domu nebo FVE, musí před pojistným plněním být splněny podmínky zmíněné v pojistných podmínkách. Zde již záleží na konkrétní společnosti. Např. Česká pojišťovna a.s. nestanovuje podmínky přepětové ochrany, oproti tomu Generali Pojišťovna a.s. explicitně zmiňuje povinnosti na platnou revizi, uzemnění, přepětové ochrany i hromosvod dle souboru norem ČSN EN 62 305. [26]

Dle výše uvedených informací je závěr takový, že **stavba musí mít instalovanou přepětovou ochranu SPD**. S tím samozřejmě souvisí i povinnost správného provedení vyrovnání potenciálů, které s tím souvisí.

1.6 Riziko přepětí z hlediska FVE

FVE je obecně systém elektrických zařízení a mělo by se k němu přistupovat z hlediska ochrany přepětí obdobně, jako k jiným elektrickým zařízením. Je potřeba respektovat fyzikální zákony, které budou platit všude stejně. Panely mají určité impulzní výdržné napětí U_{imp} . V zájmu ochrany je tuto hodnotu nepřekročit. Nepříjemnou vlastností FVE, že se jedná o systém vystavený vnějším vlivům a je spojený s vnitřní instalací. Vznikne tedy další cesta pro průnik vnějších vlivů (přepětí) do elektroinstalace stavby. V případě, že stavba nemá hromosvod, stává se FVE jímací soustavou. Vzhledem k tomu, že se jedná o relativně nákladnou investici vystavenou vůči vnějším vlivům, tak se zvýší riziko škod. Tato podkapitola vysvětluje rizika, která mohou vzniknout při instalaci FVE.

Fotovoltaické panely jsou vystaveny vnějším vlivům, které mohou ovlivnit jejich správnou funkčnost a životnost. Mimo mechanické poškození (kroupy, větve, vítr) je nejvíce destruktivním jevem blesk. Vliv blesku na fotovoltaiku se značně liší v případě přímého a nepřímého zásahu.

1.6.1 Riziko přímého úderu blesku

Přímý úder blesku má v drtivé části případů destruktivní účinky. Detekce příčiny je jednoduchá, poněvadž panely jsou takřka zdemolovány. Modulům hrozí vzplanutí, dále hrozí rozšíření požáru z modulů na stavbu. V případě vzplanutí kabelů existuje riziko rozšíření požáru až do rozváděče. V místě úderu bývá roztátý nebo odpařený kov. Elektrodynamické účinky mohou vytrhnout součásti ze střechy a dokážou je kompletně zničit.

1.6.2 Riziko nepřímého úderu blesku

Magnetické pole vzniklé vlivem úderu blesku do hromosvodu vyvolá indukovaná přepětí v obvodech fotovoltaického systému. Indukované napětí se projeví o to více u takových vodivých uspořádání, která tvoří indukční smyčku. Čím větší smyčka, tím větší indukované napětí. Smyčka může být v rámci pouze pracovních vodičů nebo může zahrnout i vodiče ochranného pospojování.

Indukovaná přepětí mohou vést k nevratnému poškození vnitřní struktury fotovoltaických modulů. Dochází k poškození jednotlivých článků, kdy dojde např. k přeskoku na úrovni PN přechodu nebo k narušení vodivých spojení a zvýšení přechodného odporu. Nevýhodou je, že vizuální kontrolou nelze poškození zjistit, ale např. z elektrických parametrů to patrné být může. Zasažený řetězec nebude vykazovat stejné jmenovité hodnoty napětí a proudu, jakých dosahoval před událostí. Rychlou a efektivní metodou detekce je pomocí termografie, kde lze přímo zjistit postižená místa ve fotovoltaickém modulu.

Důsledkem nepřímého úderu blesku je vznik indukovaného přepětí v panelech. Přepětí pak může způsobit poruchy ve fotovoltaických modulech na úrovni solárních článků. To má za následek téměř nulový výstupní výkon, nepoužitelnou VA charakteristiku a neměřitelný bod maximálního výkonu. [27]

Velikost indukovaného napětí značně závisí na následujících dvou parametrech:

- **Průběh a velikost atmosférického impulzu a místo jeho úderu:** U_{ind} je přímo úměrné změně magnetického toku $d\Phi$ za čas dt , magnetický tok se pak dá rozepsat jako součin proudu a indukčnosti vodiče:

$$U_{ind} = -\frac{d\Phi}{dt} = -L \cdot \frac{dI}{dt} \quad (1-10)$$

- **Geometrické uspořádání panelů a kabelů:** U_{ind} roste s plochou smyčky S a počtem závitů N . To je dáno závislostí hustoty magnetického pole Φ na ploše smyčky S s N počtem závitů, která je vůči magnetickému poli s určitou magnetickou indukcí B natočená o úhel α :

$$\Phi = N \cdot B \cdot S \cdot \cos\alpha \quad (1-11)$$

Poznámka:

Tyto vztahy jsou pomocné k pochopení, jak rozložení kabelů v praxi ovlivní výsledné indukované napětí. Reálně se však projeví i vzájemné indukčnosti, vliv pracovních vodičů apod.

KAPITOLA 2: SYSTÉMY OCHRANY PROTI PŘEPĚTÍ

FVE systémy se z hlediska ochrany před bleskem a přepětí rozdělují do tří základních systémových konfigurací. V praxi to znamená hledisko existence hromosvodu a jeho propojení. Konfigurace jsou děleny následovně:

- **Konfigurace 1: systém bez hromosvodu,**
- **Konfigurace 2: systém s hromosvodem a dodrženou vzdáleností s,**
- **Konfigurace 3: systém s hromosvodem a nedodrženou vzdáleností s.**

Z fyzikálního hlediska jsou rozdělení závislá na tom, zda bude FVE přímo ovlivněna bleskovým proudem vlnou 10/350 μ s nebo pouze indukovanou přepětí vlnou 8/20 μ s. Snaha je určitě vyhnout se přímým úderům blesku do FVE. V takovém případě hrozí zavedení bleskového proudu do instalace, který má několikanásobně větší energii a může napáchat větší škody než proud indukovaný. Mezi systémy je pak rozdíl v typech instalovaných SPD a tloušťky ochranných vodičů pospojování. Všechny klíčové prvky FV systému musí být chráněny SPD a ochranným pospojováním s ekvipotenciálními přípojnými.

V této kapitole jsou tyto tři systémy podrobněji rozepsány. Jsou zde popsány jejich výhody, nevýhody a případná rizika. Následně jsou mezi sebou srovnány a oproti běžným variantám, které jsou popsány v normě, jsou navržena alternativní řešení.

Nejprve jsou konfigurace odděleně popsány tak, jak navrhuje normy. V dalších podkapitolách jsou návrhy konfigurací nad rámec normy, která mají lepší bezpečnostní opatření. Tyto návrhy zde existují z důvodu určitých výhod, které se dají eliminovat. Jejich eliminací lze docílit lepší ochrany před bleskem a omezit další rizika.

V případě, že dojde k poškození systému a je správně navržen dle norem a pojištěn, bude stavebníkovi vrácena částka bez obtíží. Zároveň nebude projektant v případě škody žalovatelný nebo stíhatelný, protože splnil při návrhu normativní požadavky.

Nicméně to, že je systém dle norem, neznamená že nemůže být při úderu blesku poškozen nebo zničen. Blesk stále může způsobit škodnou událost. Přestože jsou všechny 3 konfigurace normou povoleny, dva z nich by neměly být považovány za správné. Jde se o systém bez hromosvodu a systém s hromosvodem a nedodrženou vzdáleností s. Vyšší rizika jsou u těchto konfigurací dále rozepsána. Déle je popsáno omezení těchto rizik určitými opatřeními nad rámec normy nebo doporučeními.

V poslední části je pak vysvětlen systém s plechovou střechou, který bývá v praxi často diskutovaný. Lze ho považovat za speciální případ. Zde k němu budou popsány dva odlišné přístupy.

2.1 Systém bez hromosvodu

Jedná se o fotovoltaický systém bez vnější ochrany před bleskem. Typicky se může jednat o FV systém na starších budovách, kdy jejich vlastníci instalují fotovoltaiku dodatečně.

Dalším případem výskytu této konfigurace je, když výsledek analýzy rizika nevyžaduje instalovat hromosvod. Takový případ nastane, pokud je řešená stavba v ochranném prostoru (LPZ 0B), např. díky vyšším stavbám opatřených hromosvodem. Takový stav však nemusí být optimální z hlediska výnosnosti FVE kvůli zastínění panelů vyššími stavbami. Zároveň je z pozice projektanta obtížné zaručit, že vyšší chránící stavba bude existovat po celou dobu životnosti chráněné stavby. Situaci bez hromosvodu vyhodnotí analýza rizika obecně ve chvíli, kdy je míra rizika přímého úderu bleskem velmi nízká. V praxi však takový výsledek nastane málokdy a většinou je hromosvod vyžadován.

Pokud je na střeše FVE bez hromosvodu a není v chráněné zóně LPZ 0B, stává se jímací soustavou a je vystavena přímému úderu blesku. Pak nelze stanovit, že je fotovoltaika schopná bezpečného a spolehlivého provozu. V takových situacích by měla být vždy doporučena instalace hromosvodu, v nejlepším případě konfiguraci 2. Nad variantou bez hromosvodu se zde přistupuje třemi způsoby rozepsané v následujících podkapitolách.

2.1.1 Systém dle normy, bez předpokladu přímého úderu blesku

Prvním způsobem je případ, kdy se nepředpokládá přímý úder blesku. Tento přístup je v souladu s normou ČSN CLC/TS 50539-12 [22]. Je také popisován v příručkách od výrobců přepěťových ochran (např. DEHN [7] nebo Saltek [28]), kteří doporučují typy ochran dle dané konfigurace. Tyto příručky jsou také v souladu s normami. Ochranné prvky jednotlivých částí této konfigurace jsou následující:

Fotovoltaické moduly

Moduly jsou chráněny na střeše ochranným pospojováním vodičem CYA s min. průřezem 6 mm². Ochranný vodič je sveden co nejkratší cestou na přípojnicí ochranného pospojení, která je spojena s uzemňovací soustavou. V ideálním případě je vedeno tak, aby byla indukční smyčka co nejmenší a aby bylo v souběhu s vodičem co nejméně vodivých částí.

Rozhraní LPZ 0/LPZ 1 (SPD box)

Na rozhraní zón LPZ 0/LPZ 1 (např. střecha/krov) jsou vstupující DC vodiče přivedeny na DC SPD T2. SPD musí být umístěné ve vhodném rozváděči, určeném pro DC aplikace. Jde o SPD pouze pro indukovaná přepětí s proudovou vlnou 8/20 μs. Uzemňovací vývod z SPD vede co nejkratší cestou na uzemnění. DC kabely vedou do RFVE v ochranných kabelových systémech. Dovoluje-li to krytí SPD boxu, existuje možnost instalace ve vnější části.

Poznámka:

V případě, že je vzdálenost mezi panely a RFVE menší než 10 m (po DC kabelu), je dostačující SPD pouze v RFVE. Typickým případem jsou mikrozdroje na rodinných domech, kde délka nepřesahuje tuto vzdálenost, a tedy stačí pouze jedna SPD v RFVE.

Rozváděč fotovoltaiky (RFVE)

Dělí se na střídavou a stejnosměrnou část. Přístroje mohou být v jedné skříni, ale musí být viditelně oddělené. RFVE musí být určen pro DC aplikace. Doporučuje se oceloplechová skříň, v lepším případě ještě s požární odolností.

DC strana

Co nejbližše na vstupu do RFVE je DC SPD T2, která chrání měnič.

Poznámka:

Pojistkový odpojovač je doporučeno dávat až za SPD. Jedná se o velmi slabou součást obvodu (proudová přetížitelnost pojistek se pohybuje kolem desítek Ampér), která nelze vypnout pod zátěží. Pokud je odpojovač před SPD, může se během poruchy (přepětí nebo zkrat) pojistka přepálit. Při odvádění přepětí skrz SPD do země může v odpojovači docházet k nebezpečnému jiskření. Pokud bude součástka až za SPD nepůjde s přepětím do styku. Pojistkové odpojovače slouží jako ochrana FV řetězce proti nadproudům a zkratům. Zároveň slouží jako viditelné rozpojení obvodu v případě potřeby práce na elektroinstalaci.

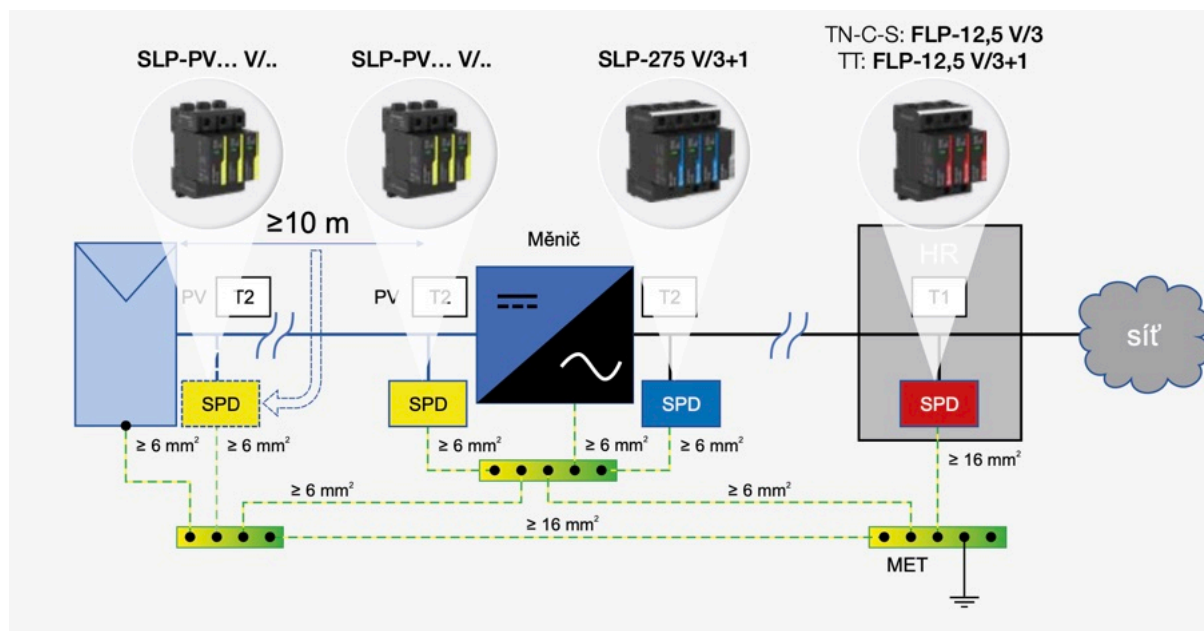
S jistěním samotného svodiče proti přetížení pojistkové odpojovače nesouvisí, neboť SPD musí mít své vlastní předjistění. Předjistění SPD bývá často zabudované přímo ve svodiči. V případě, že svodič předjistění nemá nebo je hodnota předjistění větší než zabudovaná pojistka, je potřeba před SPD dosadit pojistku zvlášť.

AC strana

Do RFVE v blízkosti za napájecím vstupem (od RH) se za vypínačem umísťuje AC SPD T2. Jde o SPD pouze pro indukovaná přepětí s proudovou vlnou 8/20 μ s. Počet pólů přístroje závisí dle sítě (3+1 pro TN-C-S nebo 3 pro TN-C).

Hlavní rozváděč (RH)

RH by měl být vždy osazen kombinovaným svodičem přepětí AC SPD T1+T2 (B+C). Je určen na bleskové proudy (10/350 μ s) a indukovaná přepětí (8/20 μ s).



Obr. 2-1: Systém FVE bez hromosvodu [28]

2.1.2 Doporučený způsob nad rámec normy, s předpokladem přímého úderu blesku

Druhá úvaha je následující. Panely na střeše jsou spojeny s uzemňovací soustavou. Kvůli absenci hromosvodu se panely stávají jímací soustavou. Hlavní změnou je, že zde se tedy uvažuje předpoklad přímého úderu blesku. Příklad typizace SPD a průřezů vodičů bude stejný jako v situaci s hromosvodem a nedodrženou vzdáleností s , jak je znázorněno v Obr. 2-4 na str. 41.

Díky přímému úderu hrozí zavedení bleskového proudu dovnitř instalace stejnosměrnými kabely (v případě průrazu) a vodiči pospojování CYA. V instalaci se tedy nachází vnitřní svod bleskového proudu s ničivými účinky.

Vzhledem k existenci bleskového proudu v instalaci se vše propojí vodičem CY (u DC CYA) s průřezem 16 mm². V této variantě dojde k následujícím **změnám**:

Fotovoltaické moduly

Moduly jsou chráněny na střeše ochranným pospojováním vodičem CYA s min. **průřezem 16 mm²**.

Rozhraní LPZ 0/LPZ 1 (SPD box)

Na rozhraní zón LPZ 0/LPZ 1 jsou vstupující DC vodiče přivedeny na **DC SPD T1+T2**. Musí zde být svodič určený pro bleskové proudy odolávající vlně 10/350 μ s. **Zde se nebude řešit vzdálenost 10 m** a SPD box se osadí, aby se omezilo riziko rozšíření bleskového proudu k technologiím FVE (měniče, baterie).

Poznámka k SPD boxu:

Blesk zde bude mít mj. obrovské elektrodynamické účinky. Je vhodné zvážit, jaký zvolit typ SPD boxu z jakého materiálu a s jakým upevněním, aby vůbec takovým účinkům odolal a „nerozletěl se“.

Rozváděč fotovoltaiky (RFVE)

DC strana

Co nejbližší na vstupu do RFVE je **DC SPD T1+T2 na bleskové proudy s vlnou 10/350 μ s**.

Pojistkový odpojovač je doporučeno dávat až za SPD. Jedná se o velmi slabou součást obvodu (proudová přetížitelnost pojistek se pohybuje kolem desítek Ampér), která nelze vypnout pod zátěží. Pokud je odpojovač před SPD, může se během poruchy pojistka přepálit a při odvádění přepětí skrz SPD do země může v odpojovači docházet k nebezpečnému jiskření. Pokud bude součástka až za SPD nepůjde s přepětím do styku.

AC strana

Do RFVE v blízkosti za napájecím vstupem (od RH) se za vypínačem umísťuje **AC SPD T1+T2**. Jde o SPD pouze **probleskové proudy** s proudovou vlnou **10/350 μ s**. Počet pólů přístroje závisí dle sítě (3+1 pro TN-C-S nebo 3 pro TN-C).

2.1.3 Uzemnění s vnějším vyvedením ochranného vodiče

Předchozí varianty popisovaly stav, kdy vodič ochranného pospojování FVE vede prostupem skrz střechu a dále skrze stavbu v zóně LPZ 1 do uzemňovací soustavy. Aby se zabránilo vniku bleskového proudu vodičem pospojování CYA dovnitř instalace, vyvede se vodič pospojování vnější částí stavby na přímo na uzemňovací soustavu. Tím se splní požadavek na co nejpřímější cestu vodiče k uzemnění. Je důležité prověřit, kudy bude vodič CYA veden. Ve vzdálenosti s by neměly být v ideálním případě žádné vodivé části. DC kabely jsou vedeny skrze prostup do RFVE. Na rozhraní zón se umístí DC SPD T1+T2 tak, aby jeho uzemňovací vývod šel také vnější částí stavby. Tím se zabránilo vniku bleskového proudu. V instalaci se objeví pouze případná indukovaná přepětí, která svede svodič na DC straně měniče. Někdy je však obtížné najít vhodné umístění SPD u vnějšku. Nabízí se zde alternativa svedení DC vodiče vnějškem instalace a do objektu se zavedou až v úrovni přízemí. SPD box se umístí na rozhraní a uzemnění vývod skrze podružnou ochrannou přípojnicí přímo do uzemňovací soustavy.

Všechna ochranná pospojení budou provedena vodičem CY(A) s min. průřezem 16 mm^2 . Svodič na rozhraní zón LPZ 0/LPZ 1 bude kombinovaný T1+T2 pro zabránění bleskového proudu do instalace. Svodič v RFVE bude T2, v lepším případě také kombinovaný T1+T2.



Obr. 2-2: FVE na střeše rodinného domu, systém bez hromosvodu [29]

2.2 Systém s hromosvodem a dodrženu vzdáleností s

Tato konfigurace má vnější ochranu před bleskem. Všechny vodivé části na střeše včetně FV systému jsou od hromosvodu ve všech bodech vzdálené alespoň s .

V případě přímého úderu blesku do jímací soustavy jsou na svodu předpokládány parametry bleskového proudu odpovídající vlně 10/350 μ s. Tento proud odpovídá velikosti dle hladině LPS/LPL, které jsou získány pomocí analýzy rizika. Proud je pomocí svodů odveden do uzemňovací soustavy, rozdělení proudů závisí na impedanci a počtu svodů. Proud protékající vodičem vyvolá magnetické pole, vzhledem ke tvaru vlny se jedná o nestacionární magnetické pole. Na instalaci FVE se může z hromosvodu naindukovat napětí. Obvod instalace FVE je skrze přepěťové ochrany uzavřen, začne jím též indukovaný proud odpovídající vlně 8/20 μ s. Indukovaný proud je svodičem přepětí odveden na potenciál země.

Vzhledem k tomu, že se jedná o indukovaný proud, budou se vyskytovat pouze indukovaná přepětí s proudovou vlnou 8/20 μ s. Díky tomu je postačující SPD typu 2 na DC straně (střídač i rozhraní). Na AC straně je u vstupu do objektu kombinovaný svodič T1+T2 (B+C) vždy, u měniče na AC straně je taktéž dostačující pouze SPD typ 2.

Vzhledem k tomu, že je v této konfiguraci celý FV systém chráněn před přímým úderem blesku a není hrozba zavedení bleskového proudu do instalace, jedná se o konfiguraci, která je schopná bezpečného a spolehlivého provozu.

Fotovoltaické moduly

Moduly jsou chráněny na střeše ochranným pospojováním vodičem CYA s min. průřezem 6 mm². Ochranný vodič je sveden co nejkratší cestou na přípojnicí ochranného pospojení, která je spojena s uzemňovací soustavou. V ideálním případě je vedeno tak, aby byla indukční smyčka co nejmenší a aby bylo v souběhu s vodičem co nejméně vodivých částí.

Rozhraní L/PZ 0/L/PZ 1 (SPD Box)

Na rozhraní zón LPZ 0/LPZ 1 (např. střecha/krov) jsou vstupující DC vodiče přivedeny na DC SPD T2. SPD musí být umístěné ve vhodném rozváděči, určeném pro DC aplikace. Jde o SPD pouze pro indukovaná přepětí s proudovou vlnou 8/20 μ s. Uzemňovací vývod z SPD vede co nejkratší cestou na uzemnění. DC kabely vedou do RFVE v ochranných kabelových systémech. Dovoluje-li to krytí SPD boxu, existuje možnost instalace ve vnější části.

Poznámka:

V případě, že je vzdálenost mezi panely a RFVE menší než 10 m (po DC kabelu), je dostačující SPD pouze v RFVE. Typickým případem jsou mikrozdroje na rodinných domech, kde délka nepřesahuje tuto vzdálenost, a tedy stačí pouze jedna SPD v RFVE.

Rozváděč fotovoltaiky RFVE

Stejnoseměrná část DC

Co nejbližší na vstupu do RFVE je DC SPD T2, která chrání měnič.

Střídavá část AC

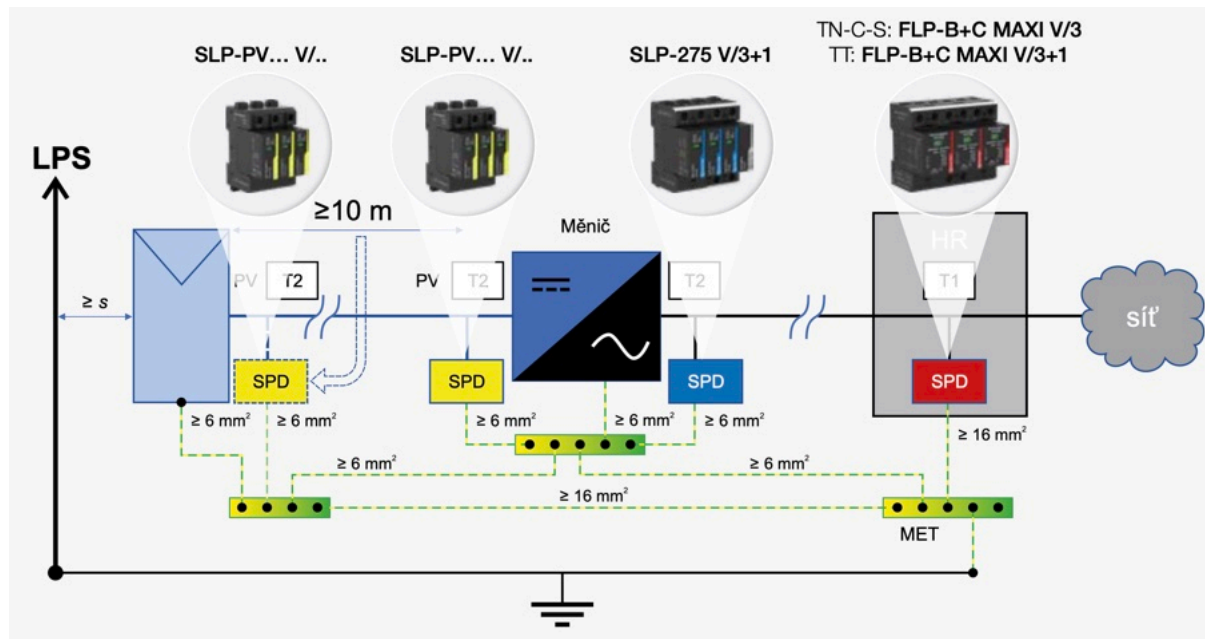
AC strana RFVE je osazena AC SPD T2. Musí být však zkoordinována s ostatními svodiči.

Poznámka:

Pokud jsou RFVE a RH v blízkosti, je dostačující kombinovaný svodič umístěný v RH.

Hlavní rozváděč RH

Na vstupu za hlavním vypínačem je umístěn kombinovaný svodič přepětí T1+T2 (B+C).



Obr. 2-3: Systém FVE s hromosvodem a **dodrženou** vzdáleností *s* [28]

2.2.1 Výhody systému s hromosvodem a dodrženou vzdáleností *s*

V případě úderu blesku do stavby je tento systém ze všech tří nejvhodnější. Jde o konfiguraci, u které lze ve srovnání s ostatními s největším přesvědčením prohlásit, že je FVE schopná bezpečného pracovat v bezpečném provozu. Ze všech tří konfigurací se doporučuje tato, je-li to možné. Argumenty tohoto tvrzení jsou následující:

- Bleskový proud neprochází skrze elektroinstalaci a je plně odveden hromosvodem, uvnitř instalace je přítomen jen indukovaný proud s proudovou vlnou 8/20 μ s a menšími energetickými toky.
- S bodem výše souvisí i finanční úspora za materiál. Je potřeba SPD pouze T2 (C), přičemž se jedná o levnější variantu oproti T1. Ochranné pospojování vodičem CY(A) lze realizovat průřezem již 6 mm² (oproti min. průřezu 16 mm², pokud se uvažuje bleskový proud).
- Nepřímý zásah blesku panely stále může poškodit, ale nemá takové destruktivní účinky, jako úder přímý.

2.3 Systém s hromosvodem a nedodrženou vzdáleností s

Konfigurace, kdy není dodržena minimální vzdálenost s . To platí ve kterémkoliv bodě instalace mezi jakoukoliv vodivou částí a hromosvodem. V takovém případě je potřeba hromosvod s těmito částmi spojit nebo udělat taková opatření, aby byla vzdálenost s dodržena. V případě, že nějaká část fotovoltaiky nesplňuje tuto podmínku, je potřeba jí celou spojit. Spojení hromosvodu a fotovoltaiky je provedeno z vrchní strany hromosvodu případně po stranách, kde jsou svody. Propojuje se hliníkový profil s vodičem ochranného pospojování přes svorku.

Propojením hromosvodu s FVE hrozí zavedení částečného bleskového proudu dovnitř instalace. Značná část proudu je odvedena svody do uzemňovací soustavy, to však záleží na počtu svodů a na celkové impedanci hromosvodu. Další část je odvedena vodičem ochranného pospojování, případně DC vodiči (které budou následně odvedeny skrze SPD), dojde-li k průrazu. Pokud k průrazu nedojde, bude se v DC vodičích vyskytovat pouze indukované přepětí.

Výskyt bleskových proudů s sebou přináší potřebu robustnějších SPD a větších průřezů vodičů pospojování CY(A). SPD musí být všude T1 a pospojování musí být všude, kde bude uvažován bleskový proud, provedeno vodičem CY(A) s min. průřezem 16 mm².

Vzhledem k ničivým účinkům bleskového proudu na moduly se tato konfigurace nedoporučuje. Zavedení bleskového proudu do instalace by se mělo vždy vyhnout. Fotovoltaika není schopná bezpečného a bezporuchového provozu. Proto by měl být kladen důraz na přeuspořádání FVE tak, aby šlo o konfiguraci 2, k tomu existují pomocné nástroje jako např. použití izolovaných jímačů s napojením na izolovaný vysokonapěťový vodič HVI (místo typického AlMgSi).

Fotovoltaické moduly

Moduly jsou chráněny na střeše ochranným pospojováním vodičem CYA s min. průřezem 16 mm². Ochranný vodič je sveden co nejkratší cestou na přípojnicí ochranného pospojení, která je spojena s uzemňovací soustavou. V ideálním případě je vedeno tak, aby byla indukční smyčka co nejmenší a aby bylo v souběhu s vodičem co nejméně vodivých částí.

Rozhraní LPZ 0/LPZ 1 (SPD box)

Na rozhraní zón LPZ 0/LPZ 1 (např. střecha/krov) jsou vstupující DC vodiče přivedeny na DC SPD T1. SPD musí být umístěné ve vhodném rozváděči, určeném pro DC aplikace. Jde o SPD pouze pro indukovaná přepětí s proudovou vlnou 10/350 μs. Uzemňovací vývod z SPD vede co nejkratší cestou na uzemnění. DC kabely vedou do RFVE v ochranných kabelových systémech. Dovoluje-li to krytí SPD boxu, existuje možnost instalace ve vnější části.

Poznámka:

U kratších vzdáleností než 10 m mezi FVE a RFVE není instalace na straně panelů povinná. Nicméně se vzhledem k ničivým účinkům blesku doporučuje vždy.

Rozváděč fotovoltaiky (RFVE)

Dělí se na střídavou a stejnosměrnou část. Přístroje mohou být v jedné skříni, ale musí být viditelně oddělené. RFVE musí být určen pro DC aplikace. Doporučuje se oceloplechová skříň, v lepším případě ještě s požární odolností.

DC strana

Co nejbližše na vstupu do RFVE je DC SPD T1, která chrání měnič.

Poznámka:

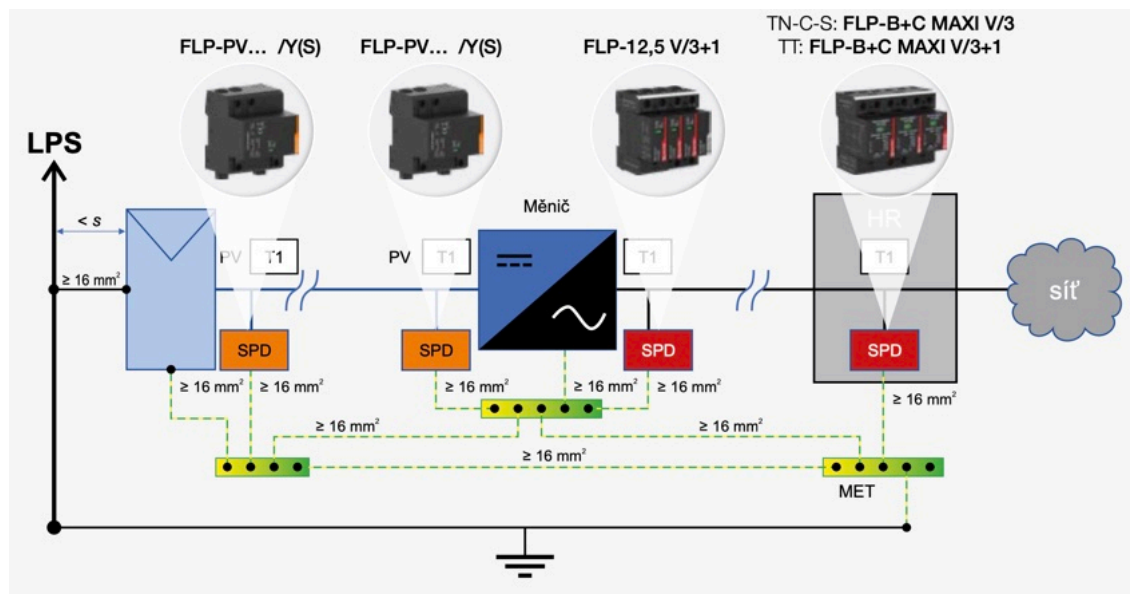
Pojistkový odpojovač je doporučeno dávat až za SPD. Jedná se o velmi slabou součást obvodu (proudová přetížitelnost pojistek se pohybuje kolem desítek Ampér), která nelze vypnout pod zátěží. Pokud je odpojovač před SPD, může se během poruchy (přepětí nebo zkrat) pojistka přepálit. Při odvádění přepětí skrz SPD do země může v odpojovači docházet k nebezpečnému jiskření. Pokud bude součástka až za SPD nepůjde s přepětím do styku.

AC strana

Do RFVE v blízkosti za napájecím vstupem (od RH) se za vypínačem umísťuje AC SPD T1. Jde o SPD pouze pro indukovaná přepětí s proudovou vlnou 10/350 μ s. Počet pólů přístroje závisí dle sítě (3+1 pro TN-C-S nebo 3 pro TN-C).

Hlavní rozváděč (RH)

RH by měl být vždy osazen kombinovaným svodičem přepětí AC SPD T1+T2 (B+C). Je určen na bleskové proudy (10/350 μ s) a indukovaná přepětí (8/20 μ s).



Obr. 2-4: Systém FVE s hromosvodem a **nedodrženou** vzdáleností s [28]

2.3.1 Použití izolovaného vysokonapětového kabelu HVI

Je vždy doporučeno, aby konfigurace 3 - spojení fotovoltaiky s hromosvodem nenastala. Jestliže opatření typu přeuspořádání panelů a úprava jímací soustavy se svody nezabrala, nabízí se možnost použití izolovaného vysokonapětového vodiče (high voltage inductor – HVI). HVI je založen na principu koaxiálního kabelu. Je obalen vysokonapětovou izolací a vnějším polovodivým pláštěm (obvykle měděný vodič s PE). Izolace kabelu má vždy definovaný ekvivalent přeskokové vzdálenosti s , např. pro vodič HVI Light DEHNcon-H je ekvivalent dostatečné vzdálenosti pro vzduch 45 cm. Výhodou je, že v případě použití HVI stačí pouze 1 svod. Nevýhoda je jeho několikanásobně vyšší cena, která se pohybuje kolem 1 500 Kč/m vodiče [30] oproti 30 Kč/m [31] běžně používaného drátu AlMgSi $d=8$ mm. Další nevýhodou je maximální délkové omezení jednotlivých typů HVI a při překročení je potřeba typů určených pro větší vzdálenost.

V praxi, zejména pak u větších objektů s větším množstvím elektrických zařízení je často nemožné se vyhnout dodržení vzdálenosti s při běžném provedení. Pokud je žádoucí, aby byla vzdálenost dodržena, je jedinou možností použít vodič HVI. Takovým případem může být, pokud jsou na/v objektu hořlavé stavební materiály. Pomocí izolovaných jímačů a na ně připojených vodičů HVI lze vytvořit izolovaný hromosvod.

2.3.2 Systém s kovovou střechou

V praxi při návrhu fotovoltaiky může vyvstat otázka, jak se zachovat v případě stavby s vodivou střešní krytinou. Norma ČSN EN 62305-3 ed. 2 popisuje možnost použití náhodných vodivých prvků jakožto prvky vnějšího systému ochrany před bleskem. Část 5.2.5 popisuje za jakých podmínek lze považovat součásti stavby za náhodné jímače a součásti vnější LPS. Kovové oplechování stavby lze použít jako náhodný jímač a součást LPS v případě splnění následujících podmínek [10], [32]:

- Bude zajištěno trvalé elektrické propojení mezi různými díly (např. falcováním nebo nýtováním).
- Tloušťka oplechování není menší než hodnota t' uvedená v Tab. 2-1 níže, pokud není potřeba předcházet propálení oplechování nebo vznícení materiálů pod obložením. Při pochybnostech, zda je oteplení nebezpečné nebo hrozí propálení, je potřeba tato rizika ověřit. V případě, že je krytina v ochranné zóně LPZ 0B nebo vyšší, se riziko v úvahu brát nemusí. V případě existujícího nebezpečí je potřeba dodržovat tloušťky dle následujícího bodu.
- Tloušťka oplechování není menší než hodnota t uvedená v Tab. 2-1 níže. Podmínka se řeší v případě nutných opatření proti propálení nebo nebezpečnému zahřátí v bodě úderu.

- Krytina není potažena izolační hmotou, přičemž tenká vrstva ochranné barvy, 0,5 mm PVC nebo 1 mm asfaltu, se za izolační hmotu nepovažují.

Minimální dostatečná vzdálenost s se u staveb s kovovou nebo železobetonovou konstrukcí s elektrických propojeným ocelovým armováním dodržet nemusí. [10]

Třída LPS	Materiál	Tloušťka ^a t mm	Tloušťka ^b t' mm
I až IV	Olovo	–	2,0
	Ocel (pozinkovaná)	4	0,5
	Titan	4	0,5
	Měď	5	0,5
	Hliník	7	0,65
	Zinek	–	0,7
^a t zabrání propálení. ^b t' jen pro kovové oplechování, není-li nutno zabránit propálení, přezhavení nebo zapálení.			

Tab. 2-1: Minimální tloušťky kovových oplechování nebo kovových potrubí jímacích soustav

[10]

KAPITOLA 3: METODIKA PRO VYHODNOCENÍ OCHRANY FVE PROTI PŘEPĚTÍ

3.1 Popis metodiky

Cílem metodiky je schopnost vyhodnocení systému ochrany FVE proti přepětí. Výsledkem je informace o správnosti ochrany FVE proti přepětí. Sběr dat o stavu FVE je formou kontroly jednotlivých sekcí popsán v této podkapitole níže. Jednotlivé kroky jsou doprovázeny checklistem, který napomáhá kontrole všech důležitých komponent a částí objektu související s ochranou proti přepětí. Dokument má pomoci člověku, který má na starost zapojení elektroinstalace fotovoltaiky. Může pomoci také někomu, kdo si chce ověřit správnost již existujícího systému a na základě výsledků provést patřičné změny vedoucí ke správnému provedení.

Metodika není ekvivalentem jakékoliv revize elektrického zařízení objektu a nenahrazuje ji. Může však sloužit jako pomocný podklad před revizí. Soustředí se na instalaci prvků souvisejících s přepětím (bleskové proudy nebo indukované proudy). Jedná se o pomocný dokument, jehož účelem je správné určení a zkontrolování ochrany FVE proti přepětí skutečného provedení na stavbě. *Metodika je vypracovaná tak, aby byla samostatně využitelná a vyjmutelná z této diplomové práce. V příloze se nachází samostatný dokument k tisku.*

3.2 Postup metodiky

Fotovoltaiky jsou zde rozčleněny do tří konfigurací. Metodika pro zpracování využívá vstupní data z projektové dokumentace anebo ze samotné stavby, resp. ze skutečného provedení. V optimálním případě je být fyzicky přítomen na stavbě a fyzicky jednotlivé prvky kontrolovat. **Systémové konfigurace**, které se budou hodnotit jsou následovné:

- **Konfigurace 1: FV systém bez hromosvodu**
- **Konfigurace 2: FV systém s hromosvodem a dodržanou vzdáleností s**
- **Konfigurace 3: FV systém s hromosvodem a nedodržanou vzdáleností s**

Každá konfigurace je podrobněji popsána v Kapitole 2 této práce. Zde jsou i přesto vypsány nejdůležitější poznámky a doporučení k jednotlivým konfiguracím.

Metodika je členěna do tří kontrolních sekcí. Každá kontrolní sekce má svůj rámec, který vymezuje, co se v ní má řešit. V sekcích se nacházejí připomínky a checklisty pro přehlednost a jistější kontrolu. V každém checklistu je vypsána řada podmínek, které mají být z hlediska správné ochrany proti přepětí splněny. Připomínky a poznámky jsou zformulovány tak, aby se na ně dalo odpovědět jednoduše ANO/NE. Každá položka má své přiřazené číslo. Čísla položek **zvýrazněné tučně** jsou obzvláště důležité a jejich nesplněním hrozí nesprávná ochranná funkce proti přepětí. V dalších podkapitolách se nacházejí připomínky a závěrečná zhodnocení. V každé sekci je nejprve vysvětleno, co se má kontrolovat. Kontrola je nehledě na konfigurace téměř shodná, mění se pouze některé parametry. To se týká zejména SPD a průřezů vodičů. V takových případech je text upraven tak, aby se třikrát po sobě neopakoval jen s drobnými změnami. Kvůli tomu jsou vybrané pasáže vypracovány formou tabulek, kde sloupec reprezentuje příslušnou konfiguraci. Při kontrole se čtenář věnuje sloupci s aktuální konfigurací.

Na konci každé sekce je pak kontrolní checklist pro závěrečné shrnutí.

- **Sekce 1: Kontrola instalace panelů a kabeláže:**

Část se zabývá montáží panelů, ochranným pospojením konstrukcí fotovoltaických panelů a pracovními vodiči vedoucí do rozváděče.

- **Sekce 2: Kontrola vnější ochrany před bleskem:**

Sekce se věnuje vnější ochraně před bleskem. Kontroluje správnost provedení vnější ochrany před bleskem (hromosvod), zda je v souladu s danou konfigurací.

- **Sekce 3: Kontrola vnitřní ochrany před bleskem:**

Kontrola ochranného pospojování MET¹⁰/POP¹¹, kontrola koordinace přepětových ochran (ve všech souvisejících rozváděčích), kontrola hlavní uzemňovací svorky, kontrola všech souvisejících rozváděčů a přístrojů v nich, kontrola kabelů (průřezy, koncovky, dotažení spojů).

¹⁰ MET – hlavní ochranná přípojnice

¹¹ POP – podružná ochranná přípojnice

3.3 Technické údaje

Kontrola FVE z hlediska ochrany proti přepětí
Datum kontroly: DD.MM.RRRR
Kontrolu provádí: Jan Vlček
Stavba: rodinný dům/bytový dům/průmyslový objekt/komerční objekt/...
Adresa stavby: Z důvodu zachování soukromí neuvedeno.
Předměty kontroly: Hlavní rozváděč (RH), podružné rozvodnice (RP), rozváděče fotovoltaiky (RFVE AC, RFVE DC), fotovoltaické moduly, hromosvod, kabelové trasy, kabely, propojení rozváděčů, ochranné pospojování, ...

Řešené napěťové soustavy:

Zde vyplnit veškeré řešené napěťové soustavy.

Rozdělení soustavy TN-C na soustavu TN-C-S je provedeno v ...

Příklad vyplnění:

Fotovoltaický systém:

Řešený systém je fotovoltaická elektrárna (mikrozdroj/výrobná) o špičkovém výkonu ... kWp. Výrobná se skládá z ... ks monokrystalických modulů (výrobce) ... Wp. Elektrárna je postavena na stavbě Elektrárna zapojena do ... stringů. Je umístěna na ... střeše s ... krytinou. Panely jsou umístěné na hliníkových profilech a ukotvené nerezovými prvky. Jako měniče je zvolen třífázový síťový měnič ... s nominálním výstupním výkonem ... kW.

Vnější ochrana před bleskem:

Objekt je opatřen hromosvodem. Hromosvod není propojen s fotovoltaikou, musí být ve všech bodech elektroinstalace dodržena vzdálenost s . Kovové konstrukce spojené s panely musí mít ochranné pospojování vodičem CYA s průřezem alespoň 6 mm².

Vnitřní ochrana před bleskem

Hlavní rozváděč (RH):

V hlavním rozváděči je rozvedeno napájení podružných rozvodnic RP a rozváděč fotovoltaiky RFVE. RH je osazena kombinovaným svodičem přepětí T1+T2.

Podružná rozvodnice (RP):

V RP se nachází napájení vnitřních elektrických rozvodů. Za hlavním vypínačem se nachází svodič přepětí T2.

Rozváděč fotovoltaiky (RFVE AC):

RFVE je osazen svodičem typu ...

Rozváděč fotovoltaiky (RFVE DC):

3.4 Sekce 1: Kontrola instalace panelů a kabelů vedoucí do objektu

Tato sekce je vymezena oblastí vnějšího prostoru, resp. LPZ 0 a končí na rozhraní zón LPZ 0/LPZ 1. Kontrolují se panely z hlediska ochranného pospojování. Jsou zde vysvětleny požadavky kladené na uložení kabelů, provedení koncovek, správnou typizaci případných SPD a průřezy vodičů pospojování dle konfigurace.

Řešené prvky sekce a co se na nich kontroluje:

- Pracovní vodiče DC – propojovací kabely mezi panely a kabely vedoucí dovnitř instalace
 - vizuální a hmatová kontrola, správně nalisované koncovky správně propojené konektory
 - uložení kabelů – kabelové systémy, styky s krytinou, ochrana proti UV záření
 - omezení zbytečně velkých indukčních smyček, pracovní DC kabely a vodiče CY(A)
 - omezení souběhů kabelů
- Ochranné pospojování na střeše
 - pospojování panelů – správně uchyceny příchýtkami, vše na jednom potenciálu: profily jsou galvanicky spojené s FV rámem, profily, resp. celá FV je na jednom potenciálu
 - uložení vodičů
 - vedení vodiče pro omezení indukčních smyček

3.4.1 Checklist pro sekci 1

Sekce 1: Kontrola instalace panelů a kabelů vedoucí do objektu		Splněno?
Č.p.	Pracovní kabely DC	ANO/NE
1	Póly pracovních vodičů jsou rozlišitelné po celé délce, v ideálním případě barevně (červená - kladný pól, černá - záporný pól)	
2	Jsou použity solární kabely H1Z2Z2-K s takovým průřezem, jehož proudová přetížitelnost je větší než proud nakrátko příslušného FV řetězce. V lepším případě s nějakou rezervou pro případ nadproudů.	
3	Na kabely jsou správně zakrimpované konektory MC4, jeden konec vždy sameček a druhý samička, konektory jsou pevně dané na kabelu, žádná živá část není odhalena. <i>Poznámka:</i> Pro omezení rizika zemních spojení nebo zkratů musí být použity kabely s dvojitou nebo zesílenou izolací.	
4	Kabely jsou vedeny v nosných kabelových systémech (žlaby nebo chráničky), jejich velikost je dána dle typu střechy a dle počtu vodičů. Kabely jsou chráněny před UV zářením, vodou, abrazivním materiálem (prach a písek). Nesmí být volně položeny na krytině nebo na zemi. Kabely by měly být v kabelovém systému po celé délce trasy až do rozváděčů.	
5	Pokud to stavba umožňuje, jsou veškeré prostupy a připevnění ke stavbě vodotěsné, aby zabránily zbytečnému průchodu vlhkosti do stavby/do instalace.	
6	Kabely jsou vedeny do objektu resp. do rozváděče zatěsněným kabelovým vstupem (např. střešní kabelové průchodky).	
7	Kabely jsou rozloženy po stavbě tak, aby tvořily co nejmenší indukční smyčku. To se týká DC kabelů i vodičů ochranného pospojování. Je potřeb v nejvyšší míře omezit napětí indukované bleskem	
8	Tam, kde jsou instalovány vodiče ochranného pospojování, jsou vedeny souběžně se stejnosměrnými DC vodiči. Zároveň jsou s nimi svázány.	
9	Kabely jsou vzdálené od hromosvodu a vodivých částí vedoucí bleskový proud alespoň s a jsou chráněny před přeskokem.	
10	V případě dlouhých kabelových tras jsou kabely stíněny nebo opatřeny svodičem přepětí SPD. <i>Poznámka:</i> To se týká spíše větších elektráren, u rodinných domů tuto situaci pravděpodobně není třeba řešit.	
11	Kabely všeobecně netvoří nadbytečné smyčky a mají nejkratší možnou délku (kabel je vedený nejkratší možnou cestou a na kabelové trase nejsou nadbytečné metry kabelu). <i>Poznámky:</i>	

Č.p.	Propojovací kabely mezi fotovoltaickými panely nebo optimizéry	ANO/NE
12	Kabely se nedotýkají střešní krytiny nebo země, jsou upevněny na zádech panelů.	
13	Propojovací kabely nejsou vystaveny slunečnímu záření. Pokud nejsou zastíněny panelem, jsou uloženy v chráničkách odolných vůči UV záření.	

Poznámky:

Č.p.	Upevnění panelů a ochranné pospojování	ANO/NE
14	Panely jsou upevněny na konstrukčních profilech (obvykle hliníkových) pomocí solárních příchytek. Součástky musí být zvolené tak, aby hliníkový rám panelu byl spolehlivě vodivě spojen s hliníkovým profilem. Tato podmínka se řeší za předpokladu, že ochranné pospojování je provedeno skrze hliníkové profily. V některých případech lze ochranné pospojování provést přímo skrze rámy. I v tomto případě se však doporučuje dodržení této podmínky	
15	Kovové části FV systému jsou propojeny vodičem ochranného pospojování. Jsou spojeny skrze svorku ve hliníkovém profilu. Můžou však být spojeny i hliníkové rámy. <i>Poznámka:</i> V případě lakovaných a eloxovaných hliníkových konstrukcí je potřeba použití propojek, svorek a šroubů k tomu určených. Tyto prvky mají např. brusné, ostré zakončení v místě styku s eloxovaným hliníkem a zajišťují tak spolehlivou galvanickou vazbu.	
16	Pokud jsou panely ve více řadách po sobě (např. na střeše), jsou orientovány tak, aby propojovací kabely tvořily co nejmenší indukční smyčku. Pozn.: To lze provést např. u panelů, kde krabička s propojovacími konektory je umístěna v blízkosti hliníkového rámu. Pro omezení velikosti ind. smyček se pak rámy panelů dají vůči sobě tak, aby byly krabičky a propojovací vodiče blíže k sobě.	
17	Ochranné pospojování je provedeno vodičem CYA (slaněný vodič s zelenožlutým pláštěm)	
18	Zvolený průřez CYA odpovídá min. požadovanému průřezu dle dané konfigurace. Pozn.: Pokud se jedná o vodič s jiného materiálu (např. hliník nebo ocel), je potřeba najít průřez, který bude mít ekvivalentní vlastnosti jako CY(A).	

Oblast		Konfigurace 1	Konfigurace 2	Konfigurace 3
19	Střecha/panely			
20	RFVE*	6	6	16
21	RH**			
22	Propojení přípojnic MET/POP a vyvedení z RH na MET	16		

Poznámka k tabulce výše:

Obecně platí pravidlo: kde se uvažuje s přítomností bleskového proudu s vlnou 10/350 us, musí být pospojování provedeno vodičem CY(A) s min. průřezem 16 mm², v případě indukovaných proudů s vlnou 8/20 us je dle min. požadavků normy dostačující vodič CY(A) 6 mm²

*: RFVE zahrnuje rozváděče typu SPD boxy a veškeré rozváděče související s DC i AC elektroinstalací fotovoltaiky

** : Je psáno RH, nicméně SPD může být i např. v elektroměrovém rozváděči.

Kolonka zahrnuje i tyto jiné rozváděče, kde by SPD mohla být osazena.

23 Vodiče CYA jsou chráněny před slunečním zářením a vodou uložením v příslušných kabelových systémech.

24 Vodiče CYA jsou koncovou částí (např. lisovaným kabelovým okem) upevněny na profilech FV panelů. Všechny spoje jsou na pevně dotažené a neuvolňují se při výraznější hmatové kontrole (zatáhnutí, povytáhnutí, pohnutí s matkou apod.).

Poznámky:

3.5 Sekce 2: Kontrola vnější ochrany před bleskem

Sekce je rozdělena na kontrolu hromosvodu: jímací soustavu, soustavu svodů a uzemňovací soustavu. Řešené prvky sekce a co se na nich kontroluje:

- Obecné požadavky a parametry pro hromosvod
 - kontrola projektové dokumentace (pokud existuje), kontrola výsledků analýzy rizika (je-li povinná nebo pokud existuje)
 - kontrola střešní krytiny (vodivá/nevodivá střecha)
 - z analýzy rizika zjistit potřebu hromosvodu a třídu LPS a LPL
 - přeskoková vzdálenost s v klíčových místech instalace – hromosvod-panely, hromosvod – vnitřní vodivé prvky (plechy, lišty, trubky, kabely)
- Jímací soustava
 - porovnání skutečného provedení a projektu
 - zkontrolovat, zda jsou objekty na střeše v LPZ 0B
 - ověření, že je použita metoda ochrany před bleskem je správně provedena
 - přeskokové vzdálenosti vodivých částí na střeše (FVE) s od jímací soustavy
 - v případě nedodržené vzdálenosti s nebo v případě s plechovou střechou je potřeba propojení jímací soustavy s vodivými částmi
- Soustava svodů
 - počty a rozmístění svodů
 - správné provedení napojení svodu na uzemňovací soustavu
 - přeskoková vzdálenost mezi svodem a blízkými vodivými částmi stavby
 - Zkontrolovat
- Uzemňovací soustava
 - uzemnění – uspořádání A nebo B, umístění zemniče
 - propojení s ochranným pospojením
 - hodnota zemního odporu

3.5.1 Checklist pro sekci 2

Č.p.	Sekce 2: Kontrola vnější ochrany před bleskem	Splněno?															
	Obecné požadavky a parametry	ANO/NE															
25	Stavba má analýzu rizika. <i>Poznámka:</i> Analýza rizika musí být vždy, jinak není možné posoudit případná nově vzniklá rizika. Zároveň bez ní není možné zjistit třídu LPS.																
26	Výsledek analýzy rizika vyžaduje hromosvod. <i>Poznámka:</i> Konfigurace 1 může být pouze tehdy, kdy analýza rizika nebude přítomnost hromosvodu vyžadovat resp. kdy nehrozí přímý úder blesku.																
27	Stavba má výkres hromosvodu a uzemnění.																
28	Stavba má uzemňovací soustavu.																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Třída LPS:</th> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> <th>IV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Impulzní proud</td> <td>200</td> <td>150</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Poloměr valčí se koule</td> <td>15</td> <td>20</td> <td>40</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table>	Třída LPS:	I	II	III	IV	Impulzní proud	200	150	100	100	Poloměr valčí se koule	15	20	40	60	
Třída LPS:	I	II	III	IV													
Impulzní proud	200	150	100	100													
Poloměr valčí se koule	15	20	40	60													
	Jímací soustava	ANO/NE															
29	Jímací soustava je zkoordinována s FVE. <i>Poznámka:</i> To, že měl objekt hromosvod před výstavbou FVE neznamena, že FVE bude správně chráněna. Je potřeba ověřit správnosti ochranné funkce hromosvodu i po instalaci nových prvků na stavbu.																
30	Všechny vodivé prvky na střeše (mimo hromosvod) jsou chráněny před přímým úderem blesku, resp. se nacházejí v LPZ OB.																
31	Vzdálenost s mezi hromosvodem a prvky FVE je dodržena (v případě nesplnění musí být splněna podmínka níže).																
32	Pokud není vzdálenost s dodržena, je hromosvod galvanicky spojen s FVE. <i>Poznámky:</i>																
	Soustava svodů	ANO/NE															
33	Svody jsou minimálně 2 (1 svod může být je-li proveden vodičem HVI)																
34	Je splněna podmínka pro maximální dovolené vzdálenosti mezi svody (s tolerancí +20 %) dle třídy LPS (viz tabulka). V případě, že podmínka splněna není, je potřeba zřídit větší množství svodů.																
35	Každý svod má své označení																
36	Svody jsou připojené na zemnič svorkou																
37	Je dodržena vzdálenost s mezi svody a vodivými částmi stavby (okapy, vnitřní instalace, zásuvky, klimatizace, tepelná čerpadla apod.). <i>Poznámka:</i> V případě spojení jiných vodivých částí se i tyto části stávají potenciálními nosiči bleskového proudu. Je potřeba dodržovat vzdálenost s i od nově spojených částí. <i>Poznámky:</i>																

Uzemňovací soustava**ANO/NE**

38	Stavba má uzemňovací soustavu <i>Poznámka:</i> Pro správnou funkčnost ochranného pospojování je důležitá přítomnost uzemňovací soustavy. Např. u starších staveb se může stát, že nebudou mít žádnou uzemňovací soustavu. V takovém případě je potřeba jí zřídit, např. vykopáním zemního pásku kolem stavby nebo zatlučením zemních kolíků.
39	Vodivé rámy a profily FVE jsou propojeny vodičem ochranného pospojování
40	Uspořádání uzemňovací soustavy je A/B
41	Je splněn požadavek hodnoty zemního odporu, který musí být max. 10 Ohm
42	Uzemňovací soustava je spojena s MET a veškerým ochranným pospojováním v celé instalaci
43	V případě uspořádání typu A:
44	Horní konec svislého zemniče vyčnívá alespoň 0,5 m nad povrchem
45	V případě uspořádání typu B
46	Uzemnění je jako: Obvodový zemnič/základový zemnič/náhodný zemnič
47	Obvodový zemnič je alespoň z 80 % uložen v zemi
48	Obvodový zemnič je alespoň 0,5 m hluboko a 1 m daleko od obvodu stavby
49	Základový zemnič je uložen v betonu a tvoří uzavřenou smyčku
50	Náhodné zemniče splňují podmínky zmíněné v příloze ČSN 62 305-3 ed. 2, které popisují propojení vodivých konstrukcí pro správné galvanické propojení jejich součástí
	<i>Poznámky:</i>

3.6 Sekce 3: Kontrola vnitřní ochrany před bleskem

Sekce je vymezena vnitřním prostorem LPZ 1 a výše. Dělí se na rozváděče, kde se řeší DC strana rozváděče fotovoltaiky (RFVE), AC RFVE a hlavní rozváděč RH, kde jsou ostatní vnitřní elektrické rozvody elektroinstalace. V rozváděčích se řeší typ skříně, typ SPD a jeho umístění, pořadí zapojení, uzemnění SPD. Řeší se způsob uložení kabelů v rozváděči. Dále se zabývá vizuální a hmatovou kontrolou všech prvků týkající se této sekce.

Řešené prvky sekce a co se na nich kontroluje:

- rozváděč fotovoltaiky na stejnosměrné straně RFVE DC, případně další DC rozváděče se svodiči přepětí (RFVE DC, SPD Boxy apod.)
 - umístění a typ skříně
 - umístění SPD (poloha a pořadí) včetně dodržení vzdálenosti pracovní vodič-SPD-zem
 - typ SPD dle konfigurace
 - propojovací kabeláž (souběhy, smyčky, dotažení spojů, křížení kolmo)
 - viditelné oddělení DC/AC (mezerou nebo dvěma rozváděči zvlášť)
- rozváděč fotovoltaiky na střídavé straně RFVE AC
 - typ skříně
 - umístění SPD (poloha a pořadí) včetně dodržení vzdálenosti pracovní vodič-SPD-zem
 - typ SPD dle konfigurace
 - propojovací kabeláž (souběhy, smyčky, dotažení spojů, křížení kolmo)
 - oddělení DC/AC
- hlavní rozváděč elektroinstalace RH, případně jiný rozváděč, kde se nachází SPD (např. elektroměrový rozváděč RE)
 - umístění SPD (poloha a pořadí) včetně dodržení vzdálenosti pracovní vodič-SPD-zem
 - typ SPD dle konfigurace
 - koordinace SPD (dodržení koordinačních vzdáleností nebo použití RTO nebo takové typy svodičů T1/T2/T3, které jsou mezi sebou výrobcem zkoordinovány)
 - kabely – křížení kolmo
- hlavní/podružná ochranná přípojnice MET/POP a veškeré ochranné pospojování
 - průřezy vodičů + dotažení spojů
 - souběhy s vodivými částmi
 - kontrola přeskokových vzdáleností s
 - ochranné pospojování vodivých částí stavby a vnitřních prvků FVE

3.6.1 Checklist pro sekci 3

Č.p.	Sekce 3: Kontrola vnitřní ochrany před bleskem	Splněno?
	Vzdálenosti	ANO/NE
51	Zvolte možnost: vzdálenost mezi mezi FV panely a střídačem je <i>větší/menší</i> než 10 m (po kabelu)	
52	<i>V případě, že je vzdálenost mezi panely a střídačem větší než 10 m:</i>	
53	Je osazen blíž k fotovoltaice další SPD box (dodatečný malý rozváděč se svodiči SPD).	
54	Rozváděč je určený pro DC aplikace. Zároveň je umístěn ve vhodných podmínkách vzhledem ke svému stupni krytí. Jeho umístění je případně v souladu s požadavky výrobce.	
55	SPD se nachází na rozhraní zón LPZ 0/LPZ 1.	
56	Uzemňovací vývod SPD je vyveden na ochranné pospojování. Pokud nastane přepětí, je svedeno nejkratší cestou na přípojnicí.	
57	V případě souběhu vodiče CY, který odvádí přepětí pryč, hrozí indukování přepětí na jiné obvody. V takovém případě jsou i ostatní obvody, opatřeny vhodnými SPD (viz koordinace svodičů).	
	<i>Poznámky:</i>	
Č.p.	Rozváděč fotovoltaiky RFVE	ANO/NE
58	DC a AC část je viditelně oddělena (značení, viditelná mezera)	
59	Rozváděč (skříň) je určený pro DC aplikace. Zároveň je umístěn ve vhodných podmínkách vzhledem ke svému stupni krytí. Jeho umístění je případně v souladu s požadavky výrobce.	
Č.p.	RFVE DC	ANO/NE
60	Každý FV string má svou SPD	
61	SPD je určena pro DC aplikace. Nelze osadit na stejnosměrné straně svodič určený pro DC.	
62	SPD je umístěna co nejbližší ke vstupu pracovních vodičů, za vypínačem (je-li osazen).	
63	Pojistkové odpojovače s pojistkami GPV jsou umístěny až za SPD.	
64	Žádné pracovní vodiče DC FV systému nejsou v souběhu s výstupním vodičem pospojování CY a nehrozí po svedení přepětí indukce do těchto vodičů.	
65	Propojovací vodiče netvoří ostré oblouky z důvodu omezení dynamických účinků	
66	Propojovací vodiče nejsou nadbytečně dlouhé a netvoří žádné smyčky.	
67	Délka připojovacích vodičů (z napájení do SPD a z SPD na uzel země) nepřekračuje délku 0,5 m.	
68	SPD je umístěna co nejbližší ke vstupu pracovních vodičů, za vypínačem (je-li osazen).	
69	Hodnota jmenovitého napětí SPD je alespoň 1,2 násobek napětí FV stringu naprázdno	
	<i>Poznámky:</i>	

Č.p.	Typizace SPD dle konfigurace je dodržena dle následujících doporučení				ANO/NE
	Oblast	Konfigurace 1	Konfigurace 2	Konfigurace 3	
70	Rozváděč na rozhraní (SPD BOX, pokud je)	T1 nebo T1+T2	T2	T1 nebo T1+T2	
71	RFVE DC	T1 nebo T1+T2	T2	T1 nebo T1+T2	
72	RFVE AC	T1 nebo T1+T2 (nemusí být, pokud je v blízkosti RH)	T2 (nemusí být, pokud je v blízkosti RH)	T1 nebo T1+T2 (nemusí být, pokud je v blízkosti RH)	
73	Hl. rozváděč RH AC	T1+T2	T1+T2	T1+T2	

Č.p.	RFVE AC	ANO/NE
74	Propojovací vodiče nejsou nadbytečně dlouhé a nejsou zasmyčkovány. Mají optimální délku.	
75	Součet délek přívodních a vývodních vodičů (z napájení do SPD a z SPD na uzel země) nepřekračuje délku 0,5 m.	
76	Propojovací vodiče netvoří ostré oblouky z důvodu omezení elektrodynamických účinků.	
77	SPD jsou v rámci celé elektroinstalace mezi sebou zkoordinovány. To znamená, že jsou dodrženy minimální vzdálenosti mezi jednotlivými třídami T1, T2 a T3 (pokud jsou). V případě indukovaného přepětí na jiný okruh dojde vždy k odvedení přepětí skrz SPD do země, nesmí dojít k ohrožení elektrických zařízení. V koordinaci je také zahrnuta podmínka použití stejného výrobce v celé instalaci.	

Poznámky:

KAPITOLA 4: APLIKOVÁNÍ METODIKY: ANALÝZA STAVU OCHRAN PROTI PŘEPĚTÍ VYBRANÝCH FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN

V této části je aplikována metodika rozepsána v Kapitole 3 na autorem vybraných fotovoltaických elektrárnách. Nejprve jsou uvedeny základní technické údaje elektrárny řešeného objektu. Pro částečnou vizualizaci je text doplněn obrázky některých řešených prvků. Následně je aplikován metodický postup a finální zhodnocení s případnými poznámkami a připomínkami. Aby se text neopakoval, budou vyplněné checklisty k příslušným elektrárnám až v přílohách této práce. Zde bude jen úvod a závěrečné zhodnocení ochrany proti přepětí.

4.1 Fotovoltaická elektrárna 1

Kontrola FVE z hlediska ochrany proti přepětí
Datum kontroly: 14.12.2023
Kontrolu provádí: Jan Vlček
Stavba: Fotovoltaická elektrárna na střeše rodinného domu
Adresa stavby: Z důvodu zachování soukromí neuvedeno.
Předměty kontroly: Hlavní rozváděč (RH), podružné rozvodnice (RP), rozváděče fotovoltaiky (RFVE AC, RFVE DC), fotovoltaické moduly, hromosvod, kabelové trasy, kabely, propojení rozváděčů, ochranné pospojování

Řešené napěťové soustavy:

3/PEN AC 400/230 V, 50 Hz, TN-C	distribuční síť,
3/PEN AC 400/230 V, 50 Hz, TN-C	řešené elektroinstalace nízkého napětí,
3/N/PE AC 230/400 V, 50 Hz, TN-C-S	řešené elektroinstalace nízkého napětí,
3/N/PE AC 230/400 V, 50 Hz, TN-S	výstup střídačů fotovoltaického systému,
2/M DC do 1000 V, IT	stejnoseměrná část fotovoltaického systému,
2/M DC 288 V, IT	stejnoseměrná část bateriového úložiště.

Rozdělení soustavy TN-C na soustavu TN-C-S je provedeno v hlavním rozváděči RH.

Fotovoltaický systém:

Řešený systém je fotovoltaická elektrárna (mikrozdroj) o špičkovém výkonu 8,5 kWp. Mikrozdroj se skládá z 20 ks monokrystalických modulů Jinko JKM425N-54HL4-V 425 Wp, rozdělených do 2 řetězců, tj. 2x10. FVE je umístěna na sedlové střeše s krytinou z pálených tašek. Stavba má hromosvod. Panely jsou umístěny na hliníkových profilech a ukotvené nerezovými prvky.

Systém je vybaven bateriovým úložištěm Dyness Tower T10 o celkové nominální kapacitě 10,7 kWh. Jako měnič je zvolen třífázový hybridní měnič GoodWe GW10K-ET s nominálním výstupním zdánlivým výkonem 10 kVA.

Vnější ochrana před bleskem:

Objekt je opatřen hromosvodem. Hromosvod není propojen s fotovoltaikou, ve všech bodech elektroinstalace musí být dodržena vzdálenost s. Kovové konstrukce spojené s panely musí mít ochranné pospojování vodičem CYA s průřezem alespoň 6 mm². Hromosvod je spojen s uzemňovací soustavou.

Vnitřní ochrana před bleskem

Elektroměrový rozváděč (RE):

Elektroměrový rozváděč na vstupu do stavby je opatřen kombinovaným svodičem přepětí T1+T2 Hakel HLSA 12,5-275/3+0 M.

Hlavní rozváděč (RH):

V hlavním rozváděči je rozvedeno napájení podružné rozvodnice RP a rozváděč fotovoltaiky RFVE. RH není osazena svodičem přepětí, SPD jsou umístěny před RH v RE a za RH v RP a v RFVE.

Podružná rozvodnice (RP):

V RP se nachází napájení vnitřních elektrických rozvodů. Za hlavním vypínačem se nachází svodič přepětí AC SPD T2 Hakel PIII 275 4+0.

Rozváděč fotovoltaiky (RFVE AC):

V RFVE AC se nachází AC SPD T2 Schrack VVM255-20 4+0.

Rozváděč fotovoltaiky (RFVE DC):

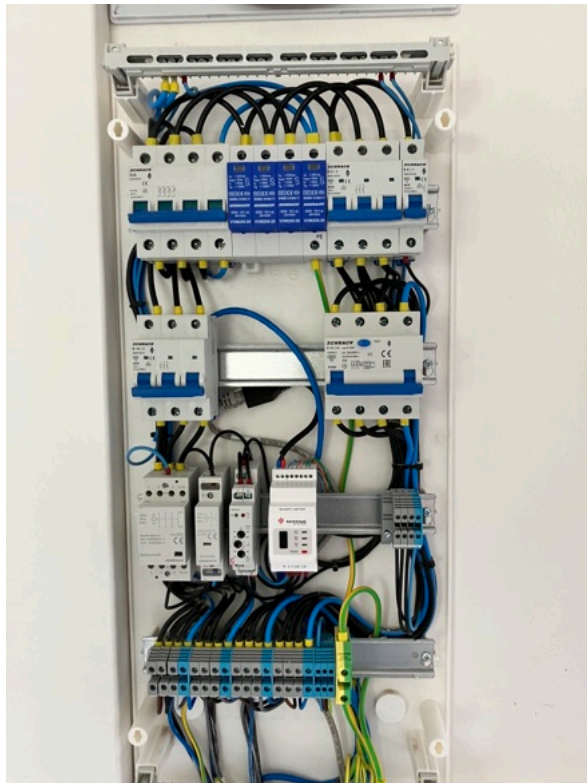
RFVE DC je osazen DC SPD T2 Schrack Photec P C-550 V pro každý string.



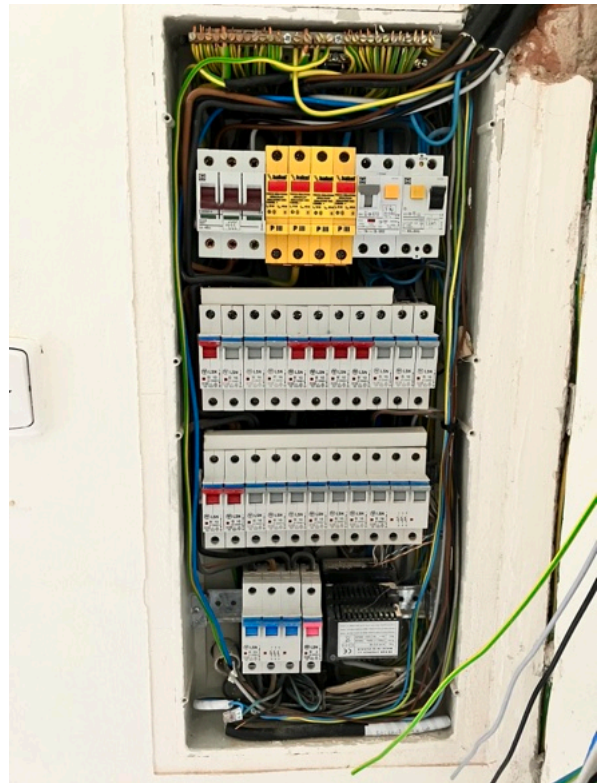
Obr. 4-1: Zapojení FVE



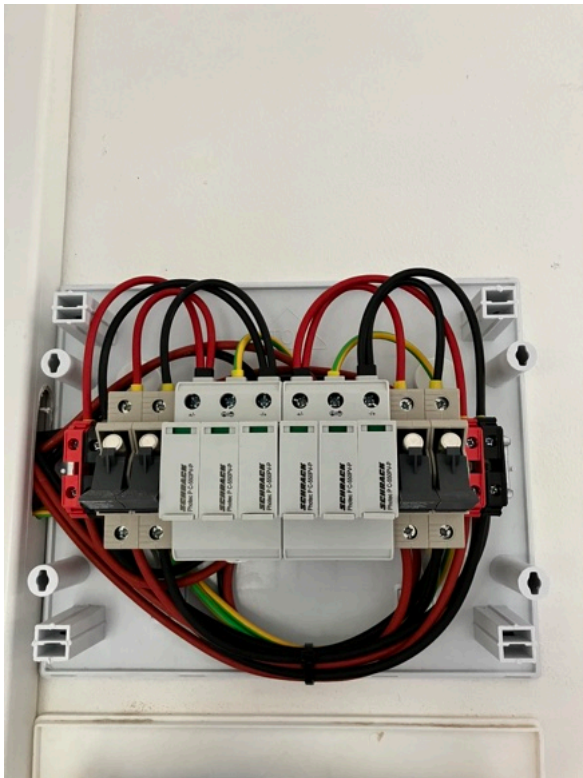
Obr. 4-2: Rozváděč RH



Obr. 4-3: Rozváděč RFVE AC



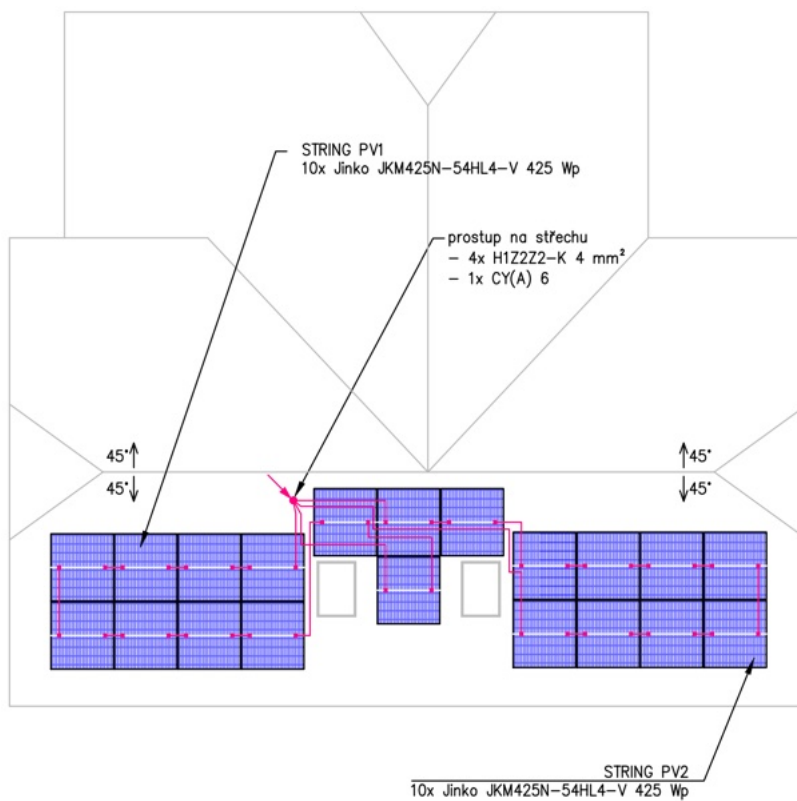
Obr. 4-4: Rozváděč RP



Obr. 4-5: Rozváděč RFVE DC



Obr. 4-6: Krytina s hliníkovými profily a hromosvodem před instalací



Obr. 4-7: Rozmístění panelů na střeše

4.1.1 Závěrečné zhodnocení

Ochrana kontrolované FVE proti přepětí je **částečně splněna, s výhradami k sekci 3**. Případné výhrady a důvody pro nesplnění ochrany plynou z průběžných odpovědí a poznámek v checklistu. Výhrady, připomínky nebo důvody pro nesplnění jsou vypsány níže:

Seznam nesplněných položek:

11, 53, 55, 56, 64, 66, 75

Slovní zhodnocení a doporučení:

Sekce 1 je splněna s jednou nepřesností z hlediska optimalizace délky a trasování kabelů.

Sekce 2 je splněna bez výhrad.

Sekce 3 se nedá považovat za splněnou vzhledem k závažnějším chybám, zejména položky 66, 73. Položky 66 a 73 se týkají omezení délek a smyček kabelů v rozváděči. Je potřeba kabely zkrátit. Jejich délka se omezí také přeuspořádáním přístrojů. Nutnost přeuspořádání se týká především svodiče v RFVE AC, který není co nejbližší za vstupním napájecím vodičem, ani nesplňuje max. délku přívodních a vývodních kabelů 0,5 m. Kabely spojující SPD tvoří v rozváděči velkou indukční smyčku skrze celý rozváděč. Pro spravení těchto chyb není potřeba velkého zásahu do celkové instalace. Opravný zásah bude jen v rámci rozváděčů, a to především přeuspořádáním přístrojů a zkrácením kabelů.

Rozváděčům RFVE DC, RFVE AC a RH chybí značení jednotlivých vodičů a osazených přístrojů.

4.2 Fotovoltaická elektrárna 2

Kontrola FVE z hlediska ochrany proti přepětí
Datum kontroly: 18.12.2023
Kontrolu provádí: Jan Vlček
Stavba: Komerční objekt. Fotovoltaická elektrárna na střechách dvou staveb.
Adresa stavby: Z důvodu zachování soukromí neuvedeno.
Předměty kontroly: Hlavní rozváděč (RH), podružné rozvodnice (RP), SPD Box, rozváděče fotovoltaiky (RFVE AC, RFVE DC), fotovoltaické moduly, hromosvod, kabelové trasy, kabely, propojení rozváděčů, ochranné pospojení

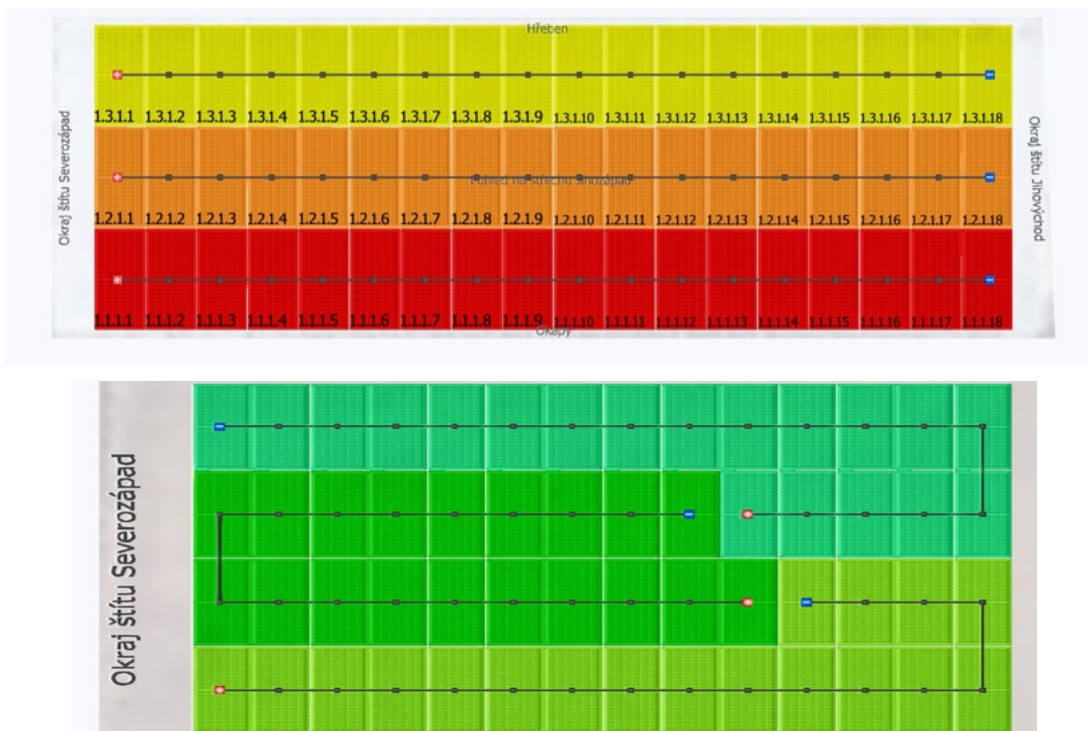
Řešené napěťové soustavy:

3/PEN AC 400/230 V, 50 Hz, TN-C	distribuční síť,
3/PEN AC 400/230 V, 50 Hz, TN-C	řešené elektroinstalace nízkého napětí,
3/N/PE AC 230/400 V, 50 Hz, TN-C-S	řešené elektroinstalace nízkého napětí,
3/N/PE AC 230/400 V, 50 Hz, TN-S	výstup střídačů fotovoltaického systému,
2/M DC do 1000 V, IT	stejnoseměrná část fotovoltaického systému,

Rozdělení soustavy TN-C na soustavu TN-C-S je provedeno v hlavním rozváděči RH.

Fotovoltaický systém:

Řešený systém je fotovoltaická elektrárna (výrobná) o špičkovém výkonu 49,5 kWp. Výrobná se skládá z 110 ks monokrystalických modulů Jinko JKM425N-54HL4-V 450 Wp. Elektrárna je postavena na dvou různých stavbách komerčního objektu a skládá se z celkem šesti stringů. První část instalace je složena z 56 modulů ve třech řetězcích (PV1.1 až PV1.3). Je umístěna na sedlové střeše s krytinou z pálených tašek. Druhá část instalace je složena z 54 modulů ve třech řetězcích (PV2.1 až PV2.3). Je umístěna na sedlové střeše s plechovou krytinou. Panely jsou umístěné na hliníkových profilech a ukotvené nerezovými prvky. Jako měniče jsou zvoleny dva třífázové síťové měniče GoodWe GW25K-MT s nominálním výstupním zdánlivým výkonem 25 kVA. Jedná se tedy o dvě oddělené výrobní na dvou odlišných budovách s přibližným špičkovým výkonem 25 kWp.



Obr. 4-8: Stringy fotovoltaické elektrárny, nahoře 1.1 až 1.3, dole 2.1 až 2.3

Vnější ochrana před bleskem:

Hromosvod a ochranné pospojování:

Stavba, kde je umístěná 1. část FVE je opatřena hromosvodem. Hromosvod je propojen s fotovoltaikou. Stavba s plechovou střešní krytinou, kde je umístěná 2. část FVE, nemá hromosvod. Jedná se o plechovou montovanou halu. Kovové konstrukce spojené s panely musí mít ochranné pospojování vodičem CYA dle norem, pro 1. část 16 mm² a 2. část 6 mm². Je však doporučeno i pro 2. část použít vodič s průřezem 16 mm².

Vnitřní ochrana před bleskem

Zde jsou řešeny rozváděče, které jsou opatřeny vnitřní ochranou před bleskem.

Hlavní rozváděč (RH) rozváděč 1. stavby:

V hlavním rozváděči se nachází napájení vnitřních elektrických rozvodů stavby 1 a 2. části FV systému na střídavé straně. Rozváděč je osazen svodičem bleskových proudů SPD AC T1 Saltek FLP-A35-0,9 a svodičem přepětí SPD AC T2 Saltek SLP-275 V/1. Svodiče chrání měnič i rozvody stavby.

Podružný rozváděč (RP) rozváděč 2. stavby:

V RP se nachází napájení vnitřních elektrických rozvodů stavby 2 a 2. části FV systémů na střídavé straně. Rozváděč je osazen kombinovaným svodičem přepětí T1+T2 EATON SPBT12-280. Svodiče chrání měnič i rozvody stavby.

SPD box 1 na rozhraní LPZ 0/LPZ 1:

SPD jsou umístěny na rozhraní zón LPZ 0B/LPZ 1. Nachází se v SPD boxu SOL-SC-1ST-0-DC-3MPPT-2001 s krytím IP65, který je umístěn pod stříškou. V nich se nachází kombinované svodiče přepětí SPD DC T1+T2 VAL-MS-T1/T2 1000 DC-PV/2. Pro 3 stringy jsou osazeny 3 tyto svodiče.

SPD box 2 na rozhraní LPZ 0/LPZ 1:

SPD jsou umístěny na rozhraní zón. Nachází se v SPD boxu SOL-SC-1ST-0-DC-3MPPT-2001 s krytím IP65 a je umístěn na boční stěně. Rozváděč není pod zastřešením. V nich se nachází kombinované svodiče přepětí SPD DC T1+T2 VAL-MS-T1/T2 1000 DC-PV/2. Pro 3 stringy jsou osazeny 3 tyto svodiče.

Rozváděč fotovoltaiky DC 1 (RFVE DC):

V RFVE DC se nachází kombinovaný svodič přepětí SPD DC T1+T2 ETI T12 PV 1100/3.25 Y. Pro 3 stringy jsou osazeny 3 tyto svodiče.

Rozváděč fotovoltaiky DC 2 (RFVE DC):

V RFVE DC se nachází kombinovaný svodič přepětí SPD DC T1+T2 ETI T12 PV 1100/3.25 Y. Pro 3 stringy jsou osazeny 3 tyto svodiče.

Ochranné pospojování:

Veškeré části instalace jsou opatřeny ochranným pospojováním vodičem CY(A) s průřezem 16 mm². Pospojení je vyvedeno na pomocné ochranné přípojnice spojené s uzemňovací soustavou.



Obr. 4-9: SPD box s motorovými vypínači na rozhraní LPZ 0/LPZ 1



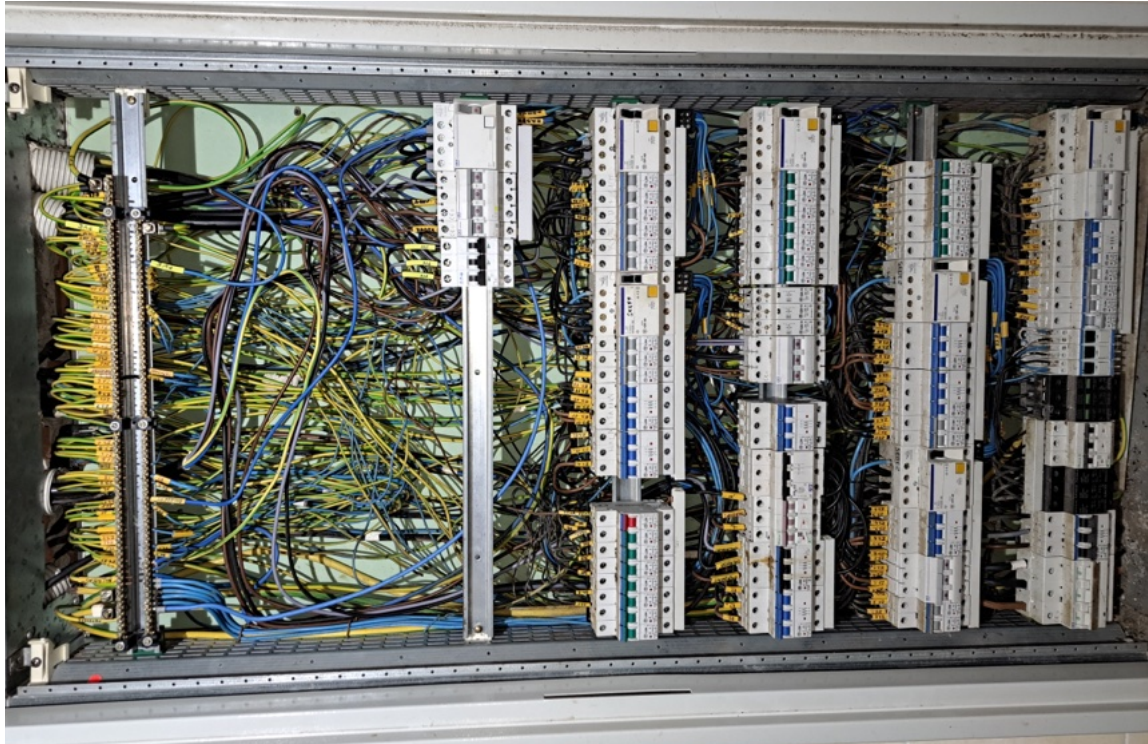
Obr. 4-10: SPD box pro stavbu 1 na rozhraní LPZ 0/LPZ 1



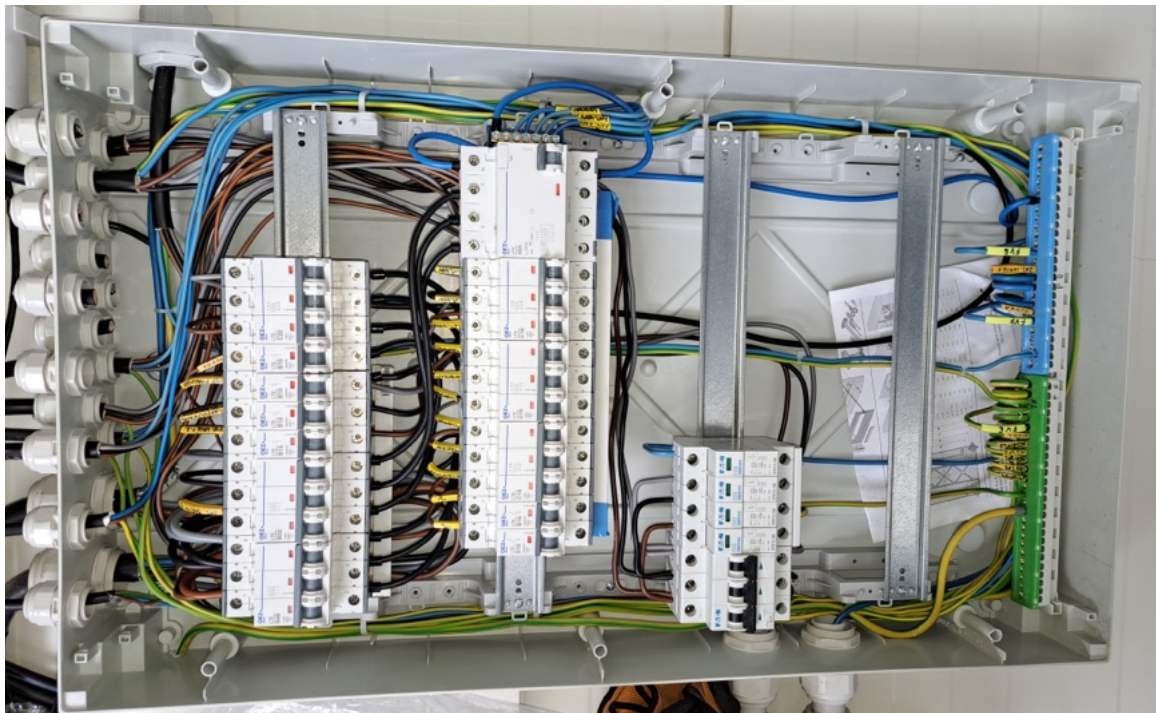
Obr. 4-11: 1. část FVE na 1. stavbě



Obr. 4-12: 2. část FVE na 2. stavbě



Obr. 4-13: Hlavní rozváděč (RH) rozváděč 1. stavby



Obr. 4-14: Podružný rozváděč (RP) rozváděč 2. stavby

4.2.1 Závěrečné zhodnocení

Přestože je elektrárna rozdělena na 2 téměř samostatné menší části, je brána a hodnocena jako jeden celek. Ochrana proti přepětí **není splněna** dle požadavků.

Seznam nesplněných položek:

5, 9, 18, 19, 21, 22, 29, 30, 31, 56, 64, 73, 74, 75

Slovní zhodnocení a doporučení:

Sekce 1 není splněna vzhledem k nedodrženému minimálnímu průřezu vodiče pospojování. Moduly jsou pospojeny CYA 10 mm². V případě stavby 1, kde je 1. část FVE je to v pořádku, protože stavba má hromosvod nespojený s FVE. U stavby 2 bez hromosvodu není tento průřez dostačující, nehledě na to, že panely nejsou chráněny (viz sekce 2). Rámy nebo konstrukce fotovoltaických modulů musí být spojeny vodičem CYA s min. průřezem 16 mm². Pro opravu stačí chybné vodiče nahradit správnými.

Sekce 2 není splněna. Stavba 1, kde se nachází 1. část FVE má správně udělaný hromosvod. Nicméně stavba 2 žádný hromosvod nemá, přestože jsou panely vystaveny přímým úderům blesku. Je potřeba zkoordinovat FVE s hromosvodem. Pro splnění je potřebné mít FVE v ochranné zóně LPZ 0B. Je nutné zřídit jímací, v lepším případě nespojený s FVE (konfigurace 2).

Sekce 3 je splněna s výhradami k uspořádání kabelů a umístění přístrojů a jednoho rozváděče. SPD Box (stavba 2) nemá zastřešení. Přestože má skříň stupeň krytí IP65, je výrobcem zastřešení z bezpečnostních důvodů vyžadováno.

Jednotlivé SPD jsou mezi sebou zkoordinovány. Nejsou však dodržena umístění SPD v blízkosti vstupního kabelu, to není splněno v RH (stavba 1) ani v RP (stavba 2). RH ani RP nemají splněnou dodrženu vzdálenost propojovacích vodičů 0,5 m. rozpojovací vodiče v RH je doporučeno přeuspořádat. Kabely jsou propojeny nepřehledně a v některých případech jsou vícekrát přeloženy do smyček. RP je délkami kabelů v pořádku.

Pro splnění požadavků je potřeba přeuspořádat výzbroj v rozváděčích RH a RP a upravit příslušnou kabeláž.

4.3 Fotovoltaická elektrárna 3

Kontrola FVE z hlediska ochrany proti přepětí
Datum kontroly: 18.12.2023
Kontrolu provádí: Jan Vlček
Stavba: Fotovoltaická elektrárna na střeše rodinného domu
Adresa stavby: Z důvodu zachování soukromí neuvedeno.
Předměty kontroly: Hlavní rozváděč (RH), rozváděče fotovoltaiky (RFVE AC, RFVE DC), fotovoltaické moduly, hromosvod, kabelové trasy, kabely, propojení rozváděčů, ochranné pospojení

Řešené napěťové soustavy:

3/PEN AC 400/230 V, 50 Hz, TN-C	distribuční síť,
3/PEN AC 400/230 V, 50 Hz, TN-C	řešené elektroinstalace nízkého napětí,
3/N/PE AC 230/400 V, 50 Hz, TN-C-S	řešené elektroinstalace nízkého napětí,
3/N/PE AC 230/400 V, 50 Hz, TN-S	výstup střídačů fotovoltaického systému,
2/M DC do 1000 V, IT	stejnoseměrná část fotovoltaického systému,
2/M DC 384 V, IT	stejnoseměrná část bateriového úložiště.

Rozdělení soustavy TN-C na soustavu TN-C-S je provedeno v hlavním rozváděči RH.

Fotovoltaický systém:

Řešený systém je fotovoltaická elektrárna (mikrozdroj) o špičkovém výkonu 9,6 kWp. Mikrozdroj se skládá z 21 ks monokrystalických modulů DHM-72L9 455 Wp, rozdělených do 2 řetězců, tj. PV1 (14 modulů) a PV2 (7 modulů). FVE je umístěna na stanové střeše s krytinou z tašek. Panely jsou rozmístěny na východní, jižní a západní straně. Stavba má hromosvod spojený s fotovoltaikou. Panely jsou umístěné na hliníkových profilech a ukotvené nerezovými spojovacími prvky.

Systém je vybaven bateriovým úložištěm Pylontech H2 Force o celkové nominální kapacitě 14,2 kWh. Jako měnič je zvolen třífázový hybridní měnič GoodWe GW10K-ET s nominálním výstupním zdánlivým výkonem 10 kVA.

Vnější ochrana před bleskem:

Objekt je opatřen hromosvodem. Hromosvod je propojen s fotovoltaikou po stranách v nejbližších místech. Panely se nachází v ochranné zóně LPZ 0B. Kovové konstrukce spojené s panely musí mít ochranné pospojování vodičem CYA s průřezem alespoň 16 mm². Kde se uvažuje s přítomností bleskového proudu musí být ochranné pospojování provedeno vodičem CY(A) s min. průřezem 16 mm².

Vnitřní ochrana před bleskem

Hlavní rozváděč (RH):

V hlavním rozváděči se nacházejí vnitřní elektrické rozvody rodinného domu. Rozváděč je chráněn kombinovaným svodičem přepětí SPD AC T1+T2 Saltek FLP-12,5 V/3.

Rozváděč fotovoltaiky (RFVE AC):

V RFVE AC se nachází měničem zálohované okruhy ochrana proti přepětí střídavé strany prvků FV systému. RFVE AC je osazen kombinovaným svodičem př SPD AC T1+T2 Saltek FLP-12,5 V/4.

SPD Box:

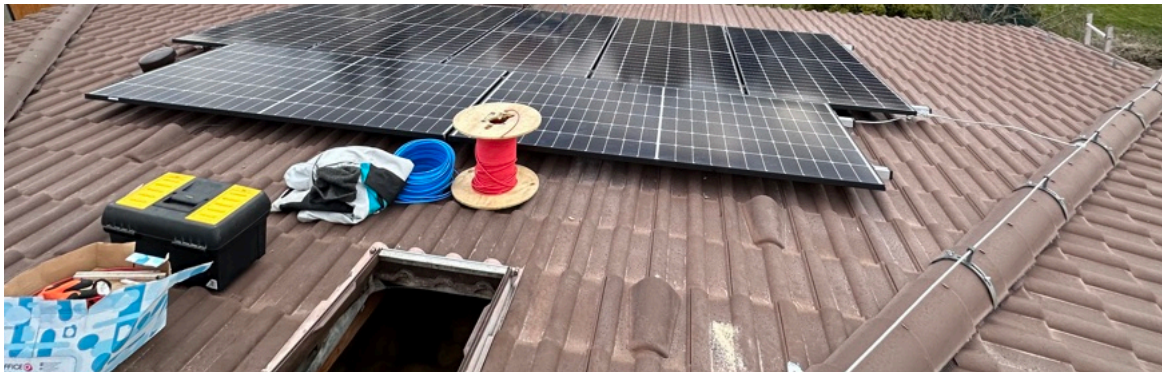
V SPD boxu v prostoru půdy se nachází pojistkové odpojovače. Před nimi je osazen kombinovaný svodič přepětí pro fotovoltaiku SPD DC T1+T2 Saltek SLP-PV700 V/Y pro každý string.

Rozváděč fotovoltaiky (RFVE DC):

V RFVE DC se nachází pojistkové odpojovače. Za nimi je osazen kombinovaný svodič přepětí pro fotovoltaiku SPD DC T1+T2 Saltek SLP-PV700 V/Y pro každý string.



Obr. 4-15: FVE východní strana – systém spojený s hromosvodem

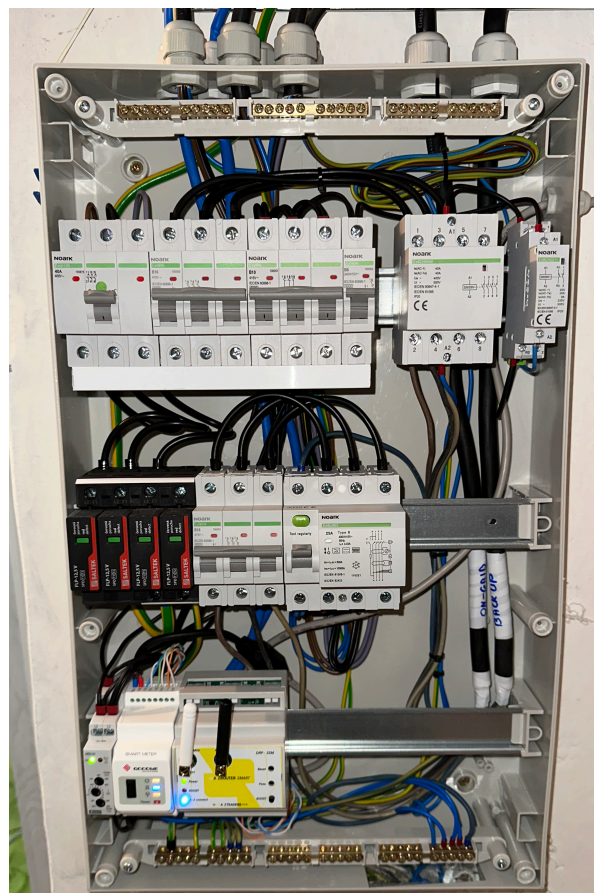


Obr. 4-16: FVE západní strana – systém spojený s hromosvodem



Obr. 4-17: Rozváděč fotovoltaiky RFVE

DC



Obr. 4-18: Rozváděč fotovoltaiky RFVE AC

4.3.1 Závěrečné zhodnocení

Ochrana kontrolované FVE proti přepětí **není splněna**. Případné výhrady a důvody pro nesplnění ochrany plynou z průběžných odpovědí a poznámek v checklistu. Výhrady, připomínky nebo důvody pro nesplnění jsou vypsány níže:

Seznam nesplněných položek:

FVE 2: 5, 9, 18, 19, 21, 22, 29, 30, 31, 56, 64, 73, 74, 75

Slovní hodnocení:

Sekce 1 není splněna vzhledem k nedodrženému minimálnímu průřezu vodiče pospojování. Rámy nebo konstrukce fotovoltaických modulů musí být spojeny vodičem CYA s min. průřezem 16 mm². Dalším místem nedodržení průřezu CY(A) je u propojení měniče a bateriového uložení. Pro opravu stačí chybné vodiče nahradit správnými.

Sekce 2 je splněna bez výhrad.

Sekce 3 není splněna z důvodu nedodržení většího množství závažnějších položek v checklistu. V RFVE DC je pojistkový odpojovač zapojen před svodičem přepětí. Je doporučeno toto pořadí z bezpečnostních důvodů při přepětí prohodit. Všechny svodiče by měly být umístěny v blízkosti napájecího přívodu, v RFVE AC tato podmínka splněna není. Pro správnou ochranu vnitřních elektrických rozvodů proti přepětí je důležité mít co nejkratší propojovací kabely svodiče přepětí s max. délkou vodičů 0,5 m. Je doporučeno výzbroj rozváděčů přeuspořádat tak, aby se délky vodičů vedoucí k SPD minimalizovaly.

Je doporučeno pro přehlednost v RFVE DC i RFVE AC označit vodiče a osazené přístroje.

I přesto, že je konfigurace fotovoltaiky spojené s hromosvodem normou dovolena, je FVE a vnitřní elektroinstalace vystavena ničivým bleskovým proudům. Je silně doporučeno FVE upravit tak, aby hromosvod nemusel být spojen (přeuspořádání modulů nebo použití HVI).

ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá problematikou ochrany fotovoltaických elektráren proti přepětí. První část teoreticky popisuje základní požadavky a nejdůležitější poznatky z projektování, aby bylo docíleno správného řešení ochrany proti přepětí.

Druhá část podrobněji vysvětluje systémové konfigurace uspořádání fotovoltaiky z hlediska ochrany před bleskem. Ty jsou rozděleny do tří systémů: 1. systém bez hromosvodu, 2. systém s hromosvodem a dodrženu vzdáleností s a 3. systém s hromosvodem a nedodrženu vzdáleností s . Každá konfigurace je rozebrána z hlediska ochrany proti přepětí. Řeší se zejména použití správných svodičů, hromosvod a kabely. Nejprve jsou systémy popsány tak, jak je požadováno dle norem. K 1. a 3. systému existují určité výhrady nebo nejasnosti z praxe, které jsou vysvětleny. Na základě těchto výhrad jsou pak přednesena vylepšení nebo doporučení, která jsou nad rámec normy.

Ve třetí části práce se nachází vypracovaná metodika, která má v praxi pomoci vyhodnotit správnost ochrany fotovoltaické elektrárny před bleskem a přepětí. Metodika je z práce samostatně vyjmutelná a použitelná pro zhodnocení různých fotovoltaických elektráren. První částí je úvod řešené FVE, dále je rozdělena do tří sekcí, které vymezují oblast kontroly. Její součástí je checklist pro sběr dat ohledně klíčových bodů v elektroinstalaci. V závěru metodiky je splnění ochrany zhodnoceno, případně jsou vypsány výhrady nebo poznámky ke zlepšení.

Čtvrtá část aplikuje metodiku v praxi. Jsou vybrány tři různé fotovoltaické systémy, u kterých se kontroluje ochrana proti přepětí dle metodického postupu. Na základě vyplněného checklistu se vyhodnotí každá ze tří kontrolovaných sekcí a poté celý FV systém. U všech třech kontrolovaných fotovoltaických elektráren se podařilo dle metodiky zhodnotit ochranu před bleskem a navrhnout příslušné úpravy ke zlepšení.

LITERATURA

- [1] Solar power europe, „EU Market Outlook for Solar Power 2022-2026 - SolarPower Europe". Viděno: 21. srpen 2023. [Online]. Dostupné z: <https://www.solarpowereurope.org/insights/market-outlooks/eu-market-outlook-for-solar-power-2022-2026-2>
- [2] OEZ, „Aplikační příručka". Viděno: 28. říjen 2022. [Online]. Dostupné z: <https://www.oez.cz/ke-stazeni/dokumenty>
- [3] Česká republika, „ČSN EN 62305-1 ed. 2 Ochrana před bleskem - Část 1: Obecné principy". Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [4] J. Hájek a D. Šalanský, „PRVNÍ ELEKTRONICKÁ KNÍŠKA O OCHRANĚ PŘED BLESKEM". Viděno: 14. září 2023. [Online]. Dostupné z: https://www.kniska.eu/kniska/kniska_2.1-1
- [5] DEHN s.r.o., „DEHN Katalogy: Ochrana před účinky přepětí". Viděno: 7. říjen 2023. [Online]. Dostupné z: <https://www.dehn.cz/cs/katalogy>
- [6] Česká republika, „ČSN EN 62305-2 ed. 2 Ochrana před bleskem - Část 2: Řízení rizika", roč. 84. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2013.
- [7] DEHN + SÖHNE, *Lightning Protection Guide*, 3rd vyd. Viděno: 28. říjen 2022. [Online]. Dostupné z: <https://www.dehn.cz/cs/blitzplaner-pruvodce-ochranou-pred-bleskem>
- [8] Česká republika, „268/2009 Sb. Vyhláška o technických požadavcích na stavby". Viděno: 20. září 2023. [Online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-268>
- [9] „183/2006 Sb. Stavební zákon". Viděno: 9. prosinec 2023. [Online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-183#cast4-hlava4>
- [10] Česká republika, „ČSN EN 62305-3 ed. 2 Ochrana před bleskem - Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života". Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2012.
- [11] DEHN s.r.o., „DEHN - Lightning and Surge Protection, Safety Equipment". Viděno: 20. listopad 2022. [Online]. Dostupné z: <https://www.dehn-international.com/en>
- [12] Česká republika, *268/2009 Sb. Vyhláška o technických požadavcích na stavby*. Viděno: 7. říjen 2023. [Online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-268/zneni-20211112>
- [13] „Přepěťové ochrany - ochrana bytových domů s neizolovanou jímací soustavou".
- [14] DEHN s.r.o., „Ekvipotenciální přípojnice K12 s násuvnými svorkami | DEHN Česká Republika". Viděno: 7. říjen 2023. [Online]. Dostupné z: <https://www.dehn.cz/cs/3986/5103/Familie-html/5103/Ekvipotenci%C3%A1ln%C3%ADp%C5%99%C3%ADpojniceK12sn%C3%A1suvn%C3%BDmisvorkami.bin>

- [15] DEHN s.r.o. a Ph. D. Ing. Jiří Kutáč, „Přepět'ová ochrana SPD typu 2". [Online]. Dostupné z: www.dehn.cz
- [16] SALTEK s.r.o., „Příručka: Napájecí sítě NN - ochrana před přepětím", 4.
- [17] Česká republika, „ČSN EN 62305-4 ed. 2 Ochrana před bleskem - Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách". Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2011.
- [18] „FLP-B+C MAXI V/3 | SALTEK s.r.o." Viděno: 12. listopad 2023. [Online]. Dostupné z: <https://www.saltek.eu/produkty/flp-bc-maxi-v3>
- [19] DEHN s.r.o., „Technologie SCI (Short Circuit Interruption)". Viděno: 21. září 2023. [Online]. Dostupné z: <https://www.dehn.cz/cs/technologie-sci>
- [20] „SLP-PV500 V/U | SALTEK s.r.o." Viděno: 25. listopad 2023. [Online]. Dostupné z: <https://www.saltek.eu/produkty/slp-pv500-vu>
- [21] „SLP-PV1500 V/Y | SALTEK s.r.o." Viděno: 25. listopad 2023. [Online]. Dostupné z: <https://www.saltek.eu/produkty/slp-pv1500-vy>
- [22] Česká republika, ČSN CLC/TS 50539-12, *Ochrany před přepětím nízkého napětí - Ochrany před přepětím pro zvláštní použití zahrnující DC - Část 12: Zásady výběru a použití - SPD připojená do fotovoltaických instalací.* 2010.
- [23] Česká republika, „ČSN 33 2000-1, ed. 2 - Elektrické instalace nízkého napětí - Část 1: Základní hlediska, stanovení základních charakteristik, definice", 2011.
- [24] Česká republika, ČSN 33 2000-4-443 ed. 3, *Elektrické instalace nízkého napětí Ochrana před rušivým napětím a elektromagnetickým rušením - ochrana před atmosférickým nebo spínacím přepětím.* Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [25] Skupina ČEZ, „Obecné podmínky připojení k distribuční soustavě („OPPDS")". Viděno: 9. listopad 2023. [Online]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/oppds_01102010.pdf
- [26] kniŠka.eu, „Pojištění fotovoltaických zdrojů". Viděno: 9. listopad 2023. [Online]. Dostupné z: <https://www.kniska.eu/x/clanky/pojistenifve>
- [27] Ph. D. Ing. Milan Bělík, „PV panels under lightning conditions", *Proceedings of the 2014 15th International Scientific Conference on Electric Power Engineering, EPE 2014*, s. 367–370, 2014, doi: 10.1109/EPE.2014.6839446.
- [28] Saltek s.r.o., „Řešení - fotovoltaické systémy: ochrana před přepětím". s. 2–7, 2023.
- [29] „Fotovoltaiku můžete instalovat i na starší dům - ESTAV.cz". Viděno: 31. prosinec 2023. [Online]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/11953.fotovoltaiku-muzete-instalovat-i-na-stars-i-dum>

- [30] „HVI I VODIČ-LONG D23MM ŠEDÝ". Viděno: 23. prosinec 2023. [Online]. Dostupné z: https://shop.elektrosms.cz/cs/819136-hvi-i-vodic-long-d23mm-sedy-zadny-vyrobce-skl000201219?gad_source=4&gclid=CjwKCAiAp5qsBhAPEiwAP0qeJhp56oA4OP9eRafnBIWtpBL7yliKnENvdYB80-PBvzaNqXNsfgeDvhoC7VoQAvD_BwE
- [31] „Drát 8 AlMgSi T/4 měkký (Tremis)". Viděno: 23. prosinec 2023. [Online]. Dostupné z: [https://shop.elektrosms.cz/cs/drat-8-almgsi-t-4-mekky-\(tremis\)-tremis-s-r-o-skl000174693](https://shop.elektrosms.cz/cs/drat-8-almgsi-t-4-mekky-(tremis)-tremis-s-r-o-skl000174693)
- [32] Ing. Jan Hlavatý, „Jan Hlavatý | projektant elektro silnoproud, nízké a vysoké napětí - Omyly v ochraně před bleskem". Viděno: 7. prosinec 2023. [Online]. Dostupné z: <https://janhlavaty.cz/2020/04/omyly-v-ochrane-pred-bleskem/>

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha A: Seznam symbolů a zkratk
- Příloha B: Checklisty z aplikované metodiky na vybrané fotovoltaické elektrárny

PŘÍLOHA A: SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

A.1 Seznam symbolů

B [T]	magnetická indukce
h [m]	výška staveb
I [A]	elektrický proud
I_N [A]	jmenovitý proud
I_{SC} [A]	proud nakrátko
k_c [-]	koeficient závislý na bleskovém proudu procházejícím LPS
k_i [-]	koeficient závislý na zvolené třídě LPS
k_m [-]	koeficient závislý na materiálu elektrické izolace
l [m]	délka podélně jímací soustavy od bodu měření vzd. s k uzemnění
L [H]	indukčnost
N [-]	počet závitů
n [-]	počet svodů
r [m]	poloměr valcíc se koule
R [Ω]	elektrický odpor
R_T [-]	přípustné riziko, koeficient rizika
s [cm]	přeskoková vzdálenost, minimální dodržovaná vzdálenost
S [mm ²]	průřez vodiče, plocha smyčky
U [V]	elektrické napětí
$UCPV$ [V]	provozní napětí svodiče přepětí
U_{OCSTC} [V]	napětí naprázdno za standardních testovacích podmínek
U_p [V]	ochranná napěťová hladina
U_w [V]	impulzní výdržné napětí
w [m]	velikost ok mřížové soustavy
Z [Ω]	impedance
α [°]	ochranný úhel
Φ [Wb]	in dukované napětí

A.2 Seznam zkratek

AC	alternating current – střídavý proud
CY(A)	zelenožlutý měděný ochranný vodič s PE pláštěm (A - slaněný)
DC	direct current – stejnosměrný proud
EB	equipotential bonding – ekvipotenciální pospojování
EMP	elektromagnetické pole
F	pojistka
FVE	fotovoltaická elektrárna
LEMP	lightning electromagnetic impulse – elektromagnetický impulz způsobený úderem blesku
L	fázový vodič
LPL	lightning protection level – úroveň ochrany před bleskem
LPS	lightning protection systém – systém ochrany před bleskem
LPZ	lightning protection zone – zóny ochrany před bleskem
MET	main earth terminal – hlavní ochranná příponice
N	nulový vodič
OPPDS	obecné podmínky připojení k distribuční soustavě
PEN	ochranný vodič (pracovní nula + uzemňovací vodič)
POP	podružná ochranná přípojnice
PE	polyethylen
PVC	polyvinylchlorid
RE	elektroměrový rozváděč
RFVE	rozdávěč fotovoltaiky
RH	hlavní rozváděč
RP	podružná rozvodnice/podružný rozváděč
SCI	short circuit interruption – přerušení zkratového proudu
SPD	surge protective device – svodič přepětí, přepět'ová ochrana
SPM	surge protection measures – ochranná opatření LEMP
STC	standard testing conditions – standardní testovací podmínky

PŘÍLOHA B: CHECKLISTY Z APLIKOVANÉ METODIKY NA VYBRANÉ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY

B.1 Fotovoltaická elektrárna 1 - checklist

Sekce 1: Kontrola instalace panelů a kabelů vedoucí do objektu		Splněno?
Č.p.	Pracovní kabely DC	ANO/NE
1	Póly pracovních vodičů jsou rozlišitelné po celé délce, v ideálním případě barevně (červená - kladný pól, černá - záporný pól)	ANO
2	Jsou použity solární kabely H1Z2Z2-K s takovým průřezem, jehož proudová přetížitelnost je větší než proud nakrátko příslušného FV řetězce. V lepším případě s nějakou rezervou pro případ nadproudů.	ANO
3	Na kabely jsou správně zakrimpované konektory MC4, jeden konec vždy sameček a druhý samička, konektory jsou pevně dané na kabelu, žádná živá část není odhalena. <i>Poznámka:</i> Pro omezení rizika zemních spojení nebo zkratů musí být použity kabely s dvojitou nebo zesílenou izolací.	ANO
4	Kabely jsou vedeny v nosných kabelových systémech (žlaby nebo chráničky), jejich velikost je dána dle typu střechy a dle počtu vodičů. Kabely jsou chráněny před UV zářením, vodou, abrazivním materiálem (prach a písek). Nesmí být volně položeny na krytině nebo na zemi. Kabely by měly být v kabelovém systému po celé délce trasy až do rozváděčů.	ANO
5	Pokud to stavba umožňuje, jsou veškeré prostupy a připevnění ke stavbě vodotěsné, aby zabránily zbytečnému průchodu vlhkosti do stavby/do instalace.	ANO
6	Kabely jsou vedeny do objektu resp. do rozváděče zatěsněným kabelovým vstupem (např. střešní kabelové průchodky).	ANO
7	Kabely jsou rozloženy po stavbě tak, aby tvořily co nejmenší indukční smyčku. To se týká DC kabelů i vodičů ochranného pospojování. Je potřeb v nejvyšší míře omezit napětí indukované bleskem	ANO
8	Tam, kde jsou instalovány vodiče ochranného pospojování, jsou vedeny souběžně se stejnosměrnými DC vodiči. Zároveň jsou s nimi svázány.	ANO
9	Kabely jsou vzdálené od hromosvodu a vodivých částí vedoucí bleskový proud alespoň s a jsou chráněny před přeskokem.	ANO
10	V případě dlouhých kabelových tras jsou kabely stíněny nebo opatřeny svodičem přepětí SPD. <i>Poznámka:</i> To se týká spíše větších elektráren, u rodinných domů tato situace pravděpodobně není třeba řešit.	ANO
11	Kabely všeobecně netvoří nadbytečné smyčky a mají nejkratší možnou délku (kabel je vedený nejkratší možnou cestou a na kabelové trase nejsou nadbytečné metry kabelu). <i>Poznámky:</i> 11: Kabely nejsou vedené optimální cestou, nicméně jsou vedeny trasou bez narušení ostatních instalací nebo v blízkostech zařízení. Jsou taktéž vedeny v kabelových systémech a chráničkách.	NE

Č.p.	Propojovací kabely mezi fotovoltaickými panely nebo optimizéry	ANO/NE
12	Kabely se nedotýkají střešní krytiny nebo země, jsou upevněny k zadní konstrukci panelů.	ANO
13	Propojovací kabely nejsou vystaveny slunečnímu záření. Pokud nejsou zastíněny panelem, jsou uloženy v chráničkách odolných vůči UV záření.	ANO

Poznámky:

Č.p.	Upevnění panelů a ochranné pospojování	ANO/NE
14	Panely jsou upevněny na konstrukčních profilech (obvykle hliníkových) pomocí solárních příchytek. Součástky musí být zvolené tak, aby hliníkový rám panelu byl spolehlivě vodivě spojen s hliníkovým profilem. Tato podmínka se řeší za předpokladu, že ochranné pospojování je provedeno skrze hliníkové profily. V některých případech lze ochranné pospojování provést přímo skrze rámy. I v tomto případě se však doporučuje dodržení této podmínky	ANO
15	Kovové části FV systému jsou propojeny vodičem ochranného pospojování. Jsou spojeny skrze svorku ve hliníkovém profilu. Můžou však být spojeny i hliníkové rámy. <i>Poznámka:</i> V případě lakovaných a eloxovaných hliníkových konstrukcí je potřeba použití propojek, svorek a šroubů k tomu určených. Tyto prvky mají např. brusné, ostré zakončení v místě styku s eloxovaným hliníkem a zajišťují tak spolehlivou galvanickou vazbu.	ANO
16	Pokud jsou panely ve více řadách po sobě (např. na střeše), jsou orientovány tak, aby propojovací kabely tvořily co nejmenší indukční smyčku. <i>Poznámka:</i> To lze provést např. u panelů, kde krabička s propojovacími konektory je umístěna v blízkosti hliníkového rámu. Pro omezení velikosti ind. smyček se pak rámy panelů dají vůči sobě tak, aby byly krabičky a propojovací vodiče blíže k sobě.	ANO
17	Ochranné pospojování je provedeno vodičem CYA (slaněný vodič s zelenožlutým pláštěm)	ANO
18	Zvolený průřez CYA odpovídá min. požadovanému průřezu dle dané konfigurace. Pozn.: Pokud se jedná o vodič s jiného materiálu (např. hliník nebo ocel), je potřeba najít průřez, který bude mít ekvivalentní vlastnosti jako CY(A).	ANO

Oblast		Konfigurace 1	Konfigurace 2	Konfigurace 3	
19	Střecha/panely				ANO
20	RFVE*	6	6	16	ANO
21	RH**				ANO
22	Propojení přípojníc MET/POP a vyvedení z RH na MET				ANO
		Průřez CYA (mm ²)	16		

Poznámka k tabulce výše:

Obecně platí pravidlo: kde se uvažuje s přítomností bleskového proudu s vlnou 10/350 us, musí být pospojování provedeno vodičem CY(A) s min. průřezem 16 mm², v případě indukovaných proudů s vlnou 8/20 us je dle min. požadavků normy dostačující vodič CY(A) 6 mm².

*: RFVE zahrnuje rozváděče typu SPD boxy a veškeré rozváděče související s DC i AC elektroinstalací fotovoltaiky

** : Je psáno RH, nicméně SPD může být i např. v elektroměrovém rozváděči.

Kolodka zahrnuje i tyto jiné rozváděče, kde by SPD mohla být osazena.

23	Vodiče CYA jsou chráněny před slunečním zářením a vodou uložením v příslušných kabelových systémech.	ANO
24	Vodiče CYA jsou koncovou částí (např. lisovaným kabelovým okem) upevněny na profilech FV panelů. Všechny spoje jsou na pevně dotažené a nevolňují se při výraznější hmatové kontrole (zatáhnutí, povytáhnutí, pohnutí s matkou apod.).	ANO

Poznámky:

16: Moduly jsou technologie half-cut a umístění propojovacích konektorů je přibližně uprostřed modulu.

Č.p.	Sekce 2: Kontrola vnější ochrany před bleskem	Splněno?
	Obecné požadavky a parametry	ANO/NE
25	Stavba má analýzu rizika. <i>Poznámka:</i> Analýza rizika musí být vždy, jinak není možné posoudit případná nově vzniklá rizika. Zároveň bez ní není možné zjistit třídu LPS.	ANO
26	Výsledek analýzy rizika vyžaduje hromosvod. <i>Poznámka:</i> Konfigurace 1 může být pouze tehdy, kdy analýza rizika nebude přítomnost hromosvodu vyžadovat resp. kdy nehrozí přímý úder blesku.	ANO
27	Stavba má výkres hromosvodu a uzemnění.	ANO
28	Stavba má uzemňovací soustavu.	ANO
	Třída LPS:	I II III IV
	Impulzní proud	200 150 100 100
	Poloměr valící se koule	15 20 40 60
	Jímací soustava	ANO/NE
29	Jímací soustava je zkoordinována s FVE. <i>Poznámka:</i> To, že měl objekt hromosvod před výstavbou FVE neznámá, že FVE bude správně chráněna. Je potřeba ověřit správnosti ochranné funkce hromosvodu i po instalaci nových prvků na stavbu.	ANO
30	Všechny vodivé prvky na střeše (mimo hromosvod) jsou chráněny před přímým úderem blesku, resp. se nacházejí alespoň v LPZ 0B.	ANO
31	Vzdálenost s mezi hromosvodem a prvky FVE je dodržena (v případě nesplnění musí být splněna podmínka níže).	ANO
32	Pokud není vzdálenost s dodržena, je hromosvod galvanicky spojen s FVE.	ANO

Poznámky:

28: Stavba má analýzu rizika a je zařazena do LPS III. Rozmístění jímací soustavy je provedeno metodou valivé koule s poloměrem 40 m.

29: Hromosvod byl zkontrolován revizním technikem a fotovoltaika se nachází v LPZ 0B.

Soustava svodů		ANO/NE
33	Svody jsou minimálně 2 (1 svod může být je-li proveden vodičem HVI)	ANO
34	Je splněna podmínka pro maximální dovolené vzdálenosti mezi svody (s tolerancí +20 %) dle třídy LPS (viz tabulka). V případě, že podmínka splněná není, je potřeba zřídit větší množství svodů.	ANO
35	Každý svod má své označení	ANO
36	Svody jsou připojené na zemnič svorkou	ANO
37	Je dodržena vzdálenost s mezi svody a vodivými částmi stavby (okapy, vnitřní instalace, zásuvky, klimatizace, tepelná čerpadla apod.). <i>Poznámka:</i> V případě spojení jiných vodivých částí se i tyto části stávají potenciálními nosiči bleskového proudu. Je potřeba dodržovat vzdálenost s i od nově spojených částí. <i>Poznámky:</i>	ANO

Uzemňovací soustava		ANO/NE
38	Stavba má uzemňovací soustavu <i>Poznámka:</i> Pro správnou funkčnost ochranného pospojování je důležitá přítomnost uzemňovací soustavy. Např. u starších staveb se může stát, že nebudou mít žádnou uzemňovací soustavu. V takovém případě je potřeba jí zřídit, např. vykopáním zemního pásu kolem stavby nebo zatlučením zemních kolíků.	ANO
39	Vodivé rámy a profily FVE jsou propojeny vodičem ochranného pospojování	ANO
40	Uspořádání uzemňovací soustavy je A/B	
41	Je splněn požadavek hodnoty zemního odporu, který musí být max. 10 Ohm	ANO
42	Uzemňovací soustava je spojena s MET a veškerým ochranným pospojováním v celé instalaci	ANO
43	V případě uspořádání typu A:	
44	Horní konec svislého zemniče vyčnívá alespoň 0,5 m nad povrchem	
45	V případě uspořádání typu B	ANO
46	Uzemnění je jako: Obvodový zemnič/základový zemnič/náhodný zemnič	
47	Obvodový zemnič je alespoň z 80 % uložen v zemi	ANO
48	Obvodový zemnič je alespoň 0,5 m hluboko a 1 m daleko od obvodu stavby	ANO
49	Základový zemnič je uložen v betonu a tvoří uzavřenou smyčku	
50	Náhodné zemniče splňují podmínky zmíněné v příloze ČSN 62 305-3 ed. 2, které popisují propojení vodivých konstrukcí pro správné galvanické propojení jejich součástí <i>Poznámky:</i>	ANO

Č.p.	Sekce 3: Kontrola vnitřní ochrany před bleskem	Splněno?
	Vzdálenosti	ANO/NE
51	Zvolte možnost: vzdálenost mezi mezi FV panely a střídačem je větší/menší než 10 m (po kabelu)	
52	<i>V případě, že je vzdálenost mezi panely a střídačem větší než 10 m:</i>	ANO
53	Je osazen blíže k fotovoltaice další SPD box (dodatečný malý rozváděč se svodiči SPD).	NE
54	Rozváděč je určený pro DC aplikace. Zároveň je umístěn ve vhodných podmínkách vzhledem ke svému stupni krytí. Jeho umístění je případně v souladu s požadavky výrobce.	NE
55	SPD se nachází na rozhraní zón LPZ 0/LPZ 1.	NE
56	Uzemňovací vývod SPD je vyveden na ochranné pospojování. Pokud nastane přepětí, je svedeno nejkratší cestou na přípojnicí.	NE
57	V případě souběhu vodiče CY, který odvádí přepětí pryč, hrozí indukované přepětí na jiné obvody. V takovém případě jsou i ostatní obvody, opatřeny vhodnými SPD.	ANO
	<i>Poznámky:</i> 52, 53: Vzdálenost je v řádech jednotek metrů větší. Vzhledem ke správně provedenému hromosvodu a vedení kabelů do rozváděče není zřízení SPD boxu nutností.	
Č.p.	Rozváděč fotovoltaiky RFVE	ANO/NE
58	DC a AC část je viditelně oddělena (značení, viditelná mezera)	ANO
59	Rozváděč (skříň) je určený pro DC aplikace. Zároveň je umístěn ve vhodných podmínkách vzhledem ke svému stupni krytí. Jeho umístění je případně v souladu s požadavky výrobce.	ANO
Č.p.	RFVE DC	ANO/NE
60	Každý FV string má svou SPD	ANO
61	SPD je určena pro DC aplikace. Nelze osadit na stejnosměrné straně svodič určený pro DC.	ANO
62	SPD je umístěna co nejbliže ke vstupu pracovních vodičů, za vypínačem (je-li osazen).	ANO
63	Pojistkové odpojovače s pojistkami GPV jsou umístěny až za SPD.	ANO
64	Žádné pracovní vodiče DC FV systému nejsou v souběhu s výstupním vodičem pospojování CY a nehrozí po svedení přepětí indukce do těchto vodičů.	NE
65	Propojovací vodiče netvoří ostré oblouky z důvodu omezení dynamických účinků	ANO
66	Propojovací vodiče nejsou nadbytečně dlouhé a netvoří žádné smyčky.	NE
67	Délka připojovacích vodičů (z napájení do SPD a z SPD na uzel země) nepřekračuje délku 0,5 m.	ANO
68	Hodnota jmenovitého napětí SPD je alespoň 1,2 násobek napětí FV stringu naprázdno	ANO
	<i>Poznámky:</i> 58: DC a AC část jsou ve dvou rozváděčích. 60: FV má 2 stringy a 2 DC SPD 64: DC a CY(A) jsou vedeny vedle sebe i po svedení přepětí. 66: Propojovací vodiče jsou nadbytečně dlouhé a v tvoří násobné smyčky, které by se daly zkrácením vodičů omezit.	

Č.p.	Typizace SPD dle konfigurace je dodržena dle následujících doporučení				ANO/NE
	Oblast	Konfigurace 1	Konfigurace 2	Konfigurace 3	
69	Rozváděč na rozhraní (SPD BOX, pokud je)	T1 nebo T1+T2	T2	T1 nebo T1+T2	-
70	RFVE DC	T1 nebo T1+T2	T2	T1 nebo T1+T2	ANO
71	RFVE AC	T1 nebo T1+T2 (nemusí být, pokud je v blízkosti RH)	T2 (nemusí být, pokud je v blízkosti RH)	T1 nebo T1+T2 (nemusí být, pokud je v blízkosti RH)	ANO
72	HL. rozváděč RH AC RE	T1+T2	T1+T2	T1+T2	ANO

Č.p.	RFVE AC	ANO/NE
73	SPD je umístěna co nejbližší ke vstupu pracovních vodičů, za vypínačem (je-li osazen).	NE
74	Propojovací vodiče nejsou nadbytečně dlouhé a nejsou zasmyčkovány. Mají optimální délku.	ANO
75	Součet délek přívodních a vývodních vodičů (z napájení do SPD a z SPD na uzel země) nepřekračuje délku 0,5 m.	NE
76	Propojovací vodiče netvoří ostré oblouky z důvodu omezení elektrodynamických účinků.	ANO
77	SPD jsou v rámci celé elektroinstalace mezi sebou zkoordinovány. To znamená, že jsou dodrženy minimální vzdálenosti mezi jednotlivými třídami T1, T2 a T3 (pokud jsou). V případě indukovaného přepětí na jiný okruh dojde vždy k odvedení přepětí skrz SPD do země, nesmí dojít k ohrožení elektrických zařízení.	ANO

Poznámka 1:

Je doporučeno použít svodiče od stejného výrobce v celé instalaci.

Poznámka 2:

Koordinace mezi jednotlivými stupni často zaručena použitím svodičů od stejného výrobce, je však důležité držet se pokyny výrobce SPD. Obecně platí dodržení minimálních vzdáleností mezi stupni T1-T2 a T2-T3, v případě jejich nedodržení lze použít i oddělovacích tlumivek (RTO).

Poznámky:

73: Přívod je ze spodní strany rozvodnice a SPD se nachází až na horní DIN liště.

75: Přívodní kabel je přiveden na svorkovnici na spodní DIN lištu, odtud vede až na vrchní DIN lištu, kde je osazen SPD a uzemňovací vývod je opět sveden na spodek. Vzniká tak velká smyčka skrze celou elektroinstalaci RFVE AC.

77: Každý svodič přepětí je od jiného výrobce. Doporučuje se nahradit SPD jedním výrobcem. Minimální délky kabelů mezi stupni T1 a T2 jsou dodrženy. Všechny vnitřní elektrické rozvody jsou chráněny svodičem.

B.2 Fotovoltaická elektrárna 2 – checklist

Sekce 1: Kontrola instalace panelů a kabelů vedoucí do objektu		Splněno?
Č.p.	Pracovní kabely DC	ANO/NE
1	Póly pracovních vodičů jsou rozlišitelné po celé délce, v ideálním případě barevně (červená - kladný pól, černá - záporný pól)	ANO
2	Jsou použity solární kabely H1Z2Z2-K s takovým průřezem, jehož proudová přetížitelnost je větší než proud nakrátko příslušného FV řetězce. V lepším případě s nějakou rezervou pro případ nadproudů.	ANO
3	Na kabely jsou správně zakrimpované konektory MC4, jeden konec vždy sameček a druhý samička, konektory jsou pevně dané na kabelu, žádná živá část není odhalena. <i>Poznámka:</i> Pro omezení rizika zemních spojení nebo zkratů musí být použity kabely s dvojitou nebo zesílenou izolací.	ANO
4	Kabely jsou vedeny v nosných kabelových systémech (žlaby nebo chráničky), jejich velikost je dána dle typu střechy a dle počtu vodičů. Kabely jsou chráněny před UV zářením, vodou, abrazivním materiálem (prach a písek). Nesmí být volně položené na krytině nebo na zemi. Kabely by měly být v kabelovém systému po celé délce trasy až do rozváděčů.	ANO
5	Pokud to stavba umožňuje, jsou veškeré prostupy a připevnění ke stavbě vodotěsné, aby zabránily zbytečnému průchodu vlhkosti do stavby/do instalace.	NE
6	Kabely jsou vedeny do objektu resp. do rozváděče zatěsněným kabelovým vstupem (např. střešní kabelové průchodky).	ANO
7	Kabely jsou rozloženy po stavbě tak, aby tvořily co nejmenší indukční smyčku. To se týká DC kabelů i vodičů ochranného pospojování. Je potřeb v nejvyšší míře omezit napětí indukované bleskem	ANO
8	Tam, kde jsou instalovány vodiče ochranného pospojování, jsou vedeny souběžně se stejnosměrnými DC vodiči. Zároveň jsou s nimi svázány.	ANO
9	Kabely jsou vzdálené od hromosvodu a vodivých částí vedoucí bleskový proud alespoň s a jsou chráněny před přeskokem.	NE
10	V případě dlouhých kabelových tras jsou kabely stíněny nebo opatřeny svodičem přepětí SPD. <i>Poznámka:</i> To se týká spíše větších elektráren, u rodinných domů tato situace pravděpodobně není třeba řešit.	ANO
11	Kabely všeobecně netvoří nadbytečné smyčky a mají nejkratší možnou délku (kabel je vedený nejkratší možnou cestou a na kabelové trase nejsou nadbytečné metry kabelu). <i>Poznámky:</i> 5: Jsou použity obyčejné kabelové systémy, ne vodotěsné. 9: Kabely nejsou vzdáleny alespoň s, je proto potřeba zřídit náročnější bezpečnostní opatření.	ANO

Č.p.	Propojovací kabely mezi fotovoltaickými panely nebo optimizéry	ANO/NE
12	Kabely se nedotýkají střešní krytiny nebo země, jsou upevněny k zadní konstrukci panelů.	ANO
13	Propojovací kabely nejsou vystaveny slunečnímu záření. Pokud nejsou zastíněny panelem, jsou uloženy v chráničkách odolných vůči UV záření.	ANO

Poznámky:

Č.p.	Upevnění panelů a ochranné pospojování	ANO/NE
14	Panely jsou upevněny na konstrukčních profilech (obvykle hliníkových) pomocí solárních příchytek. Součástky musí být zvolené tak, aby hliníkový rám panelu byl spolehlivě vodivě spojen s hliníkovým profilem. Tato podmínka se řeší za předpokladu, že ochranné pospojování je provedeno skrze hliníkové profily. V některých případech lze ochranné pospojování provést přímo skrze rámy. I v tomto případě se však doporučuje dodržení této podmínky	ANO
15	Kovové části FV systému jsou propojeny vodičem ochranného pospojování. Jsou spojeny skrze svorku ve hliníkovém profilu. Můžou však být spojeny i hliníkové rámy. <i>Poznámka:</i> V případě lakovaných a eloxovaných hliníkových konstrukcí je potřeba použití propojek, svorek a šroubů k tomu určených. Tyto prvky mají např. brusné, ostré zakončení v místě styku s eloxovaným hliníkem a zajišťují tak spolehlivou galvanickou vazbu.	ANO
16	Pokud jsou panely ve více řadách po sobě (např. na střeše), jsou orientovány tak, aby propojovací kabely tvořily co nejmenší indukční smyčku. <i>Poznámka:</i> To lze provést např. u panelů, kde krabička s propojovacími konektory je umístěna v blízkosti hliníkového rámu. Pro omezení velikosti ind. smyček se pak rámy panelů dají vůči sobě tak, aby byly krabičky a propojovací vodiče blíže k sobě.	ANO
17	Ochranné pospojování je provedeno vodičem CYA (slaněný vodič s zelenožlutým pláštěm)	ANO
18	Zvolený průřez CYA odpovídá min. požadovanému průřezu dle dané konfigurace. Pozn.: Pokud se jedná o vodič s jiného materiálu (např. hliník nebo ocel), je potřeba najít průřez, který bude mít ekvivalentní vlastnosti jako CY(A).	NE

Oblast		Konfigurace 1	Konfigurace 2	Konfigurace 3	
19	Střecha/panely				NE
20	RFVE*	6	6	16	ANO
21	RH**				ANO
22	Propojení přípojníc MET/POP a vyvedení z RH na MET				ANO
		Průřez CYA (mm ²)	16		

Poznámka k tabulce výše:

Obecně platí pravidlo: kde se uvažuje s přítomností bleskového proudu s vlnou 10/350 us, musí být pospojování provedeno vodičem CY(A) s min. průřezem 16 mm², v případě indukovaných proudů s vlnou 8/20 us je dle min. požadavků normy dostačující vodič CY(A) 6 mm².

*: RFVE zahrnuje rozváděče typu SPD boxy a veškeré rozváděče související s DC i AC elektroinstalací fotovoltaiky

** : Je psáno RH, nicméně SPD může být i např. v elektroměrovém rozváděči.

Kolonka zahrnuje i tyto jiné rozváděče, kde by SPD mohla být osazena.

23	Vodiče CYA jsou chráněny před slunečním zářením a vodou uložením v příslušných kabelových systémech.	ANO
24	Vodiče CYA jsou koncovou částí (např. lisovaným kabelovým okem) upevněny na profilech FV panelů. Všechny spoje jsou na pevně dotažené a neuvolňují se při výraznější hmatové kontrole (zatáhnutí, povytáhnutí, pohnutí s matkou apod.).	ANO

Poznámky:

19: viz 22

22: (obě FVE): Panely jsou spojeny s MET vodičem CYA 10 mm², zde by měl být 16 mm².

Vzhledem k propojení panelů s hromosvodem se očekává bleskový proud a propojení musí být provedeno alespoň vodičem CYA 16 mm². Přestože je část 2 bez hromosvodu, panely nejsou chráněny před přímým úderem blesku, tím pádem se očekává přítomnost bleskového proudu, a proto se zde také bere min. požadavek vodiče CYA 16 mm².

Č.p.	Sekce 2: Kontrola vnější ochrany před bleskem	Splněno?
	Obecné požadavky a parametry	ANO/NE
25	Stavba má analýzu rizika. <i>Poznámka:</i> Analýza rizika musí být vždy, jinak není možné posoudit případná nově vzniklá rizika. Zároveň bez ní není možné zjistit třídu LPS.	ANO
26	Výsledek analýzy rizika vyžaduje hromosvod. <i>Poznámka:</i> Konfigurace 1 může být pouze tehdy, kdy analýza rizika nebude přítomnost hromosvodu vyžadovat resp. kdy nehrozí přímý úder blesku.	ANO
27	Stavba má výkres hromosvodu a uzemnění.	ANO
28	Stavba má uzemňovací soustavu.	ANO
	Třída LPS:	I II III IV
	Impulzní proud	200 150 100 100
	Poloměr valící se koule	15 20 40 60
	Jímací soustava	ANO/NE
29	Jímací soustava je zkoordinována s FVE. <i>Poznámka:</i> To, že měl objekt hromosvod před výstavbou FVE neznamená, že FVE bude správně chráněna. Je potřeba ověřit správnosti ochranné funkce hromosvodu i po instalaci nových prvků na stavbu.	NE
30	Všechny vodivé prvky na střeše (mimo hromosvod) jsou chráněny před přímým úderem blesku, resp. se nacházejí alespoň v LPZ 0B.	NE
31	Vzdálenost s mezi hromosvodem a prvky FVE je dodržena (v případě nesplnění musí být splněna podmínka níže).	ANO
32	Pokud není vzdálenost s dodržena, je hromosvod galvanicky spojen s FVE.	ANO

Poznámky:

28: Stavba má analýzu rizika a je zařazená do LPS III. Rozmístění jímací soustavy je provedeno metodou valivé koule s poloměrem 40 m. Stavba 2 je celá z plechu a před instalací fotovoltaiky není potřeba instalovat hromosvod. Nicméně po instalaci fotovoltaiky je hromosvod nutný vzhledem k její potřebné ochraně.

29: Stavba 1 má hromosvod dle konfigurace 2. Stavba 2 hromosvod nemá a FVE je vystavena přímým úderům blesku, z tohoto důvodu není podmínka splněna.

30: 2. část FVE vyskytující se na stavbě 2 nemá hromosvod a FVE není v ochranné zóně LPZ 0B.

32: 2. FVE na stavbě 2 část žádný hromosvod nemá.

Soustava svodů		ANO/NE
33	Svody jsou minimálně 2 (1 svod může být je-li proveden vodičem HVI)	ANO
34	Je splněna podmínka pro maximální dovolené vzdálenosti mezi svody (s tolerancí +20 %) dle třídy LPS (viz tabulka). V případě, že podmínka splněná není, je potřeba zřídit větší množství svodů.	ANO
35	Každý svod má své označení	ANO
36	Svody jsou připojené na zemnič svorkou	ANO
37	Je dodržena vzdálenost s mezi svody a vodivými částmi stavby (okapy, vnitřní instalace, zásuvky, klimatizace, tepelná čerpadla apod.).	ANO
<i>Poznámka:</i> V případě spojení jiných vodivých částí se i tyto části stávají potenciálními nosiči bleskového proudu. Je potřeba dodržovat vzdálenost s i od nově spojených částí.		
<i>Poznámky:</i>		

Uzemňovací soustava		ANO/NE
38	Stavba má uzemňovací soustavu	ANO
<i>Poznámka:</i> Pro správnou funkčnost ochranného pospojování je důležitá přítomnost uzemňovací soustavy. Např. u starších staveb se může stát, že nebudou mít žádnou uzemňovací soustavu. V takovém případě je potřeba jí zřídit, např. vykopáním zemního pásu kolem stavby nebo zatlučením zemních kolíků.		
39	Vodivé rámy a profily FVE jsou propojeny vodičem ochranného pospojování	ANO
40	Uspořádání uzemňovací soustavy je A/B	
41	Je splněn požadavek hodnoty zemního odporu, který musí být max. 10 Ohm	ANO
42	Uzemňovací soustava je spojena s MET a veškerým ochranným pospojováním v celé instalaci	ANO
43	<u>V případě uspořádání typu A:</u>	
44	<u>Horní konec svislého zemniče vyčnívá alespoň 0,5 m nad povrchem</u>	
45	<u>V případě uspořádání typu B</u>	ANO
46	<u>Uzemnění je jako: Obvodový zemnič/základový zemnič/náhodný zemnič</u>	
47	Obvodový zemnič je alespoň z 80 % uložen v zemi	ANO
48	Obvodový zemnič je alespoň 0,5 m hluboko a 1 m daleko od obvodu stavby	ANO
49	<u>Základový zemnič je uložen v betonu a tvoří uzavřenou smyčku</u>	
50	Náhodné zemniče splňují podmínky zmíněné v příloze ČSN 62 305-3 ed. 2, které popisují propojení vodivých konstrukcí pro správné galvanické propojení jejich součástí	ANO

Poznámky:

Č.p.	Sekce 3: Kontrola vnitřní ochrany před bleskem	Splněno?
	Vzdálenosti	ANO/NE
51	Zvolte možnost: vzdálenost mezi mezi FV panely a střídačem je větší/menší než 10 m (po kabelu)	
52	<i>V případě, že je vzdálenost mezi panely a střídačem větší než 10 m:</i>	ANO
53	Je osazen blíže k fotovoltaice další SPD box (dodatečný malý rozváděč se svodiči SPD).	ANO
54	Rozváděč (SPD box) je určený pro DC aplikace. Zároveň je umístěn ve vhodných podmínkách vzhledem ke svému stupni krytí. Jeho umístění je případně v souladu s požadavky výrobce.	NE
55	SPD se nachází na rozhraní zón LPZ 0/LPZ 1.	ANO
56	Uzemňovací vývod SPD je vyveden na ochranné pospojování. Pokud nastane přepětí, je svedeno nejkratší cestou na přípojnicí.	NE
57	V případě souběhu vodiče CY, který odvádí přepětí pryč, hrozí indukované přepětí na jiné obvody. V takovém případě jsou i ostatní obvody, opatřeny vhodnými SPD.	ANO
<i>Poznámky:</i>		
53: Pro obě části FVE jsou vystaveny SPD boxy na rozhraních LPZ 0/LPZ 1.		
54: Rozváděče (SPD boxy) jsou určeny pro DC aplikace. U stavby 2 se 2. částí FVE není SPD Box umístěn pod zastřešením. Přestože má skříň krytí IP65, vyžaduje výrobce v návodu zastřešení tohoto boxu.		
Č.p.	Rozváděč fotovoltaiky RFVE (RH a RP + RFVE DC)	ANO/NE
58	DC a AC část je viditelně oddělena (značení, viditelná mezera)	ANO
59	Rozváděč (skříň) je určený pro DC aplikace. Zároveň je umístěn ve vhodných podmínkách vzhledem ke svému stupni krytí. Jeho umístění je případně v souladu s požadavky výrobce.	ANO
Č.p.	RFVE DC (1. část a 2. část FVE)	ANO/NE
60	Každý FV string má svou SPD	ANO
61	SPD je určena pro DC aplikace. Nelze osadit na stejnosměrné straně svodič určený pro DC.	ANO
62	SPD je umístěna co nejbliže ke vstupu pracovních vodičů, za vypínačem (je-li osazen).	ANO
63	Pojistkové odpojovače s pojistkami GPV jsou umístěny až za SPD.	ANO
64	Žádné pracovní vodiče DC FV systému nejsou v souběhu s výstupním vodičem pospojování CY a nehrozí po svedení přepětí indukce do těchto vodičů.	NE
65	Propojovací vodiče netvoří ostré oblouky z důvodu omezení dynamických účinků	ANO
66	Propojovací vodiče nejsou nadbytečně dlouhé a netvoří žádné smyčky.	ANO
67	Délka přípojovacích vodičů (z napájení do SPD a z SPD na uzel země) nepřekračuje délku 0,5 m.	ANO
68	Hodnota jmenovitého napětí SPD je alespoň 1,2 násobek napětí FV stringu naprázdno	ANO

Poznámky:

58: DC a AC části jsou každé v jiném rozváděči. AC část se pro 1. část FVE nachází v RH pro 2. v RP.

59: RFVE DC jsou určeny pro DC použití.

60: Celkem je osazeno 6 svodičů SPD DC T1+T2

64: Po svedení přepětí skrze SPD hrozí opětovná indukce do pracovních DC vodičů. Nutno vyřešit správnou koordinací mezi jednotlivými SPD v rámci celé instalace.

Č.p.	Typizace SPD dle konfigurace je dodržena dle následujících doporučení				ANO/NE
	Oblast	Konfigurace 1	Konfigurace 2	Konfigurace 3	
69	Rozváděč na rozhraní (SPD BOX, pokud je)	T1 nebo T1+T2	T2	T1 nebo T1+T2	ANO
70	RFVE DC	T1 nebo T1+T2	T2	T1 nebo T1+T2	ANO
71	RP	T1 nebo T1+T2 (nemusí být, pokud je v blízkosti RH)	T2 (nemusí být, pokud je v blízkosti RH)	T1 nebo T1+T2 (nemusí být, pokud je v blízkosti RH)	ANO
72	RH	T1+T2	T1+T2	T1+T2	ANO

Č.p.	RFVE AC – RH (část 1.) a RP (část 2.)	ANO/NE
73	SPD je umístěna co nejbližší ke vstupu pracovních vodičů, za vypínačem (je-li osazen).	NE
74	Propojovací vodiče nejsou nadbytečně dlouhé a nejsou zasmyčkovány. Mají optimální délku.	NE
75	Součet délek přívodních a vývodních vodičů (z napájení do SPD a z SPD na uzel země) nepřekračuje délku 0,5 m.	NE
76	Propojovací vodiče netvoří ostré oblouky z důvodu omezení elektrodynamických účinků.	ANO
77	SPD jsou v rámci celé elektroinstalace mezi sebou zkoordinovány. To znamená, že jsou dodrženy minimální vzdálenosti mezi jednotlivými třídami T1, T2 a T3 (pokud jsou). V případě indukovaného přepětí na jiný okruh dojde vždy k odvedení přepětí skrz SPD do země, nesmí dojít k ohrožení elektrických zařízení. <i>Poznámka 1:</i> Je doporučeno použít svodiče od stejného výrobce v celé instalaci. <i>Poznámka 2:</i> Koordinace mezi jednotlivými stupni často zaručena použitím svodičů od stejného výrobce, je však důležité držet se pokyny výrobce SPD. Obecně platí dodržení minimálních vzdáleností mezi stupni T1-T2 a T2-T3, v případě jejich nedodržení lze použít i oddělovacích tlumivek (RTO).	ANO

Poznámky:

73: SPD v rozváděči RH je v blízkosti napájecího přívodu ihned za hlavním vypínačem. V rozváděči RP tato podmínka splněná není, SPD se nachází zhruba uprostřed a má nadbytečně daleko jak přívod, tak uzemňovací vývod.

74: Propojovací vodiče v RH je doporučeno přeuspořádat. Kabele jsou propojeny nepřehledně a v některých případech jsou vícekrát přeloženy do smyček. RP je délkami kabelů v pořádku.

75: Rozváděč RH je relativně velký. Přívod je ze spodní strany. V jeho blízkosti se nachází SPD T1 a SPD T2. Jejich uzemňovací vývody se nachází na horní DIN liště a celá délka je větší než 0,5 m, byť jsou tyto kabele vedeny tou nejkratší cestou. U rozváděče RP tato podmínka také není splněna vzhledem k poloze hlavního vypínače a SPD. SPD se v RP nenachází v blízkosti přívodu.

B.3 Fotovoltaická elektrárna 3 – checklist

Sekce 1: Kontrola instalace panelů a kabelů vedoucí do objektu		Splněno?
Č.p.	Pracovní kabely DC	ANO/NE
1	Póly pracovních vodičů jsou rozlišitelné po celé délce, v ideálním případě barevně (červená - kladný pól, černá - záporný pól)	ANO
2	Jsou použity solární kabely H1Z2Z2-K s takovým průřezem, jehož proudová přetížitelnost je větší než proud nakrátko příslušného FV řetězce. V lepším případě s nějakou rezervou pro případ nadproudů.	ANO
3	Na kabely jsou správně zakrimpované konektory MC4, jeden konec vždy sameček a druhý samička, konektory jsou pevně dané na kabelu, žádná živá část není odhalena. <i>Poznámka:</i> Pro omezení rizika zemních spojení nebo zkratů musí být použity kabely s dvojitou nebo zesílenou izolací.	ANO
4	Kabely jsou vedeny v nosných kabelových systémech (žlaby nebo chráničky), jejich velikost je dána dle typu střechy a dle počtu vodičů. Kabely jsou chráněny před UV zářením, vodou, abrazivním materiálem (prach a písek). Nesmí být volně položeny na krytině nebo na zemi. Kabely by měly být v kabelovém systému po celé délce trasy až do rozváděčů.	ANO
5	Pokud to stavba umožňuje, jsou veškeré prostupy a připevnění ke stavbě vodotěsné, aby zabránily zbytečnému průchodu vlhkosti do stavby/do instalace.	NE
6	Kabely jsou vedeny do objektu resp. do rozváděče zatěsněným kabelovým vstupem (např. střešní kabelové průchodky).	ANO
7	Kabely jsou rozloženy po stavbě tak, aby tvořily co nejmenší indukční smyčku. To se týká DC kabelů i vodičů ochranného pospojování. Je potřeb v nejvyšší míře omezit napětí indukované bleskem	ANO
8	Tam, kde jsou instalovány vodiče ochranného pospojování, jsou vedeny souběžně se stejnosměrnými DC vodiči. Zároveň jsou s nimi svázány.	ANO
9	Kabely jsou vzdálené od hromosvodu a vodivých částí vedoucí bleskový proud alespoň s a jsou chráněny před přeskokem.	NE
10	V případě dlouhých kabelových tras jsou kabely stíněny nebo opatřeny svodičem přepětí SPD. <i>Poznámka:</i> To se týká spíše větších elektráren, u rodinných domů tato situace pravděpodobně není třeba řešit.	ANO
11	Kabely všeobecně netvoří nadbytečné smyčky a mají nejkratší možnou délku (kabel je vedený nejkratší možnou cestou a na kabelové trase nejsou nadbytečné metry kabelu). <i>Poznámky:</i> 9: Jedná se o konfiguraci 3, tedy fotovoltaiku s nedodrženou vzdáleností a spojeným hromosvodem.	ANO

Č.p.	Propojovací kabely mezi fotovoltaickými panely nebo optimizéry	ANO/NE
12	Kabely se nedotýkají střešní krytiny nebo země, jsou upevněny k zadní konstrukci panelů.	ANO
13	Propojovací kabely nejsou vystaveny slunečnímu záření. Pokud nejsou zastíněny panelem, jsou uloženy v chráničkách odolných vůči UV záření.	ANO

Poznámky:

Č.p.	Upevnění panelů a ochranné pospojování	ANO/NE
14	Panely jsou upevněny na konstrukčních profilech (obvykle hliníkových) pomocí solárních příchytek. Součástky musí být zvolené tak, aby hliníkový rám panelu byl spolehlivě vodivě spojen s hliníkovým profilem. Tato podmínka se řeší za předpokladu, že ochranné pospojování je provedeno skrze hliníkové profily. V některých případech lze ochranné pospojování provést přímo skrze rámy. I v tomto případě se však doporučuje dodržení této podmínky.	ANO
15	Kovové části FV systému jsou propojeny vodičem ochranného pospojování. Jsou spojeny skrze svorku ve hliníkovém profilu. Můžou však být spojeny i hliníkové rámy. <i>Poznámka:</i> V případě lakovaných a eloxovaných hliníkových konstrukcí je potřeba použití propojek, svorek a šroubů k tomu určených. Tyto prvky mají např. brusné, ostré zakončení v místě styku s eloxovaným hliníkem a zajišťují tak spolehlivou galvanickou vazbu.	ANO
16	Pokud jsou panely ve více řadách po sobě (např. na střeše), jsou orientovány tak, aby propojovací kabely tvořily co nejmenší indukční smyčku. <i>Poznámka:</i> To lze provést např. u panelů, kde krabice s propojovacími konektory je umístěna v blízkosti hliníkového rámu. Pro omezení velikosti ind. smyček se pak rámy panelů dají vůči sobě tak, aby byly krabice a propojovací vodiče blíže k sobě.	ANO
17	Ochranné pospojování je provedeno vodičem CYA (slaněný vodič s zelenožlutým pláštěm)	ANO
18	Zvolený průřez CYA odpovídá min. požadovanému průřezu dle dané konfigurace. Pozn.: Pokud se jedná o vodič s jiného materiálu (např. hliník nebo ocel), je potřeba najít průřez, který bude mít ekvivalentní vlastnosti jako CY(A).	NE

Oblast	Konfigurace 1	Konfigurace 2	Konfigurace 3	
19 Střecha/panely				NE
20 RFVE*	6	6	16	ANO
21 RH**				NE
22 Propojení přípojníc MET/POP a vyvedení z RH na MET		16		ANO

Poznámka k tabulce výše:

Obecně platí pravidlo: kde se uvažuje s přítomností bleskového proudu s vlnou 10/350 us, musí být pospojování provedeno vodičem CY(A) s min. průřezem 16 mm², v případě indukovaných proudů s vlnou 8/20 us je dle min. požadavků normy dostačující vodič CY(A) 6 mm².

*: RFVE zahrnuje rozváděče typu SPD boxy a veškeré rozváděče a prvky související s DC i AC elektroinstalací fotovoltaiky

** : Je psáno RH, nicméně SPD může být i např. v elektroměrovém rozváděči.

Kolona zahrnuje i tyto jiné rozváděče, kde by SPD mohla být osazena.

23	Vodiče CYA jsou chráněny před slunečním zářením a vodou uložením v příslušných kabelových systémech.	ANO
24	Vodiče CYA jsou koncovou částí (např. lisovaným kabelovým okem) upevněny na profilech FV panelů. Všechny spoje jsou na pevně dotažené a neuvolňují se při výraznější hmatové kontrole (zatáhnutí, povytáhnutí, pohnutí s matkou apod.).	ANO

Poznámky:

18, 19: Panely jsou pospojovány vodičem CYA s průřezem 10 mm². Musí být spojeny min. 16 mm² ve všech částech instalace, kde může být přítomen bleskový proud (pospojování panelů, propojení přípojníc, vstupy do rozváděčů, vývody z SPD na přípojnice apod.).

18, 21: Všude, kde je bleskový proud musí být vodič 16 mm². Střídač, baterie jsou pospojovány pouze CYA 6 mm².

Č.p.	Sekce 2: Kontrola vnější ochrany před bleskem	Splněno?
	Obecné požadavky a parametry	ANO/NE
25	Stavba má analýzu rizika. <i>Poznámka:</i> Analýza rizika musí být vždy, jinak není možné posoudit případná nově vzniklá rizika. Zároveň bez ní není možné zjistit třídu LPS.	ANO
26	Výsledek analýzy rizika vyžaduje hromosvod. <i>Poznámka:</i> Konfigurace 1 může být pouze tehdy, kdy analýza rizika nebude přítomnost hromosvodu vyžadovat resp. kdy nehrozí přímý úder blesku.	ANO
27	Stavba má výkres hromosvodu a uzemnění.	ANO
28	Stavba má uzemňovací soustavu.	ANO
	Třída LPS:	I II III IV
	Impulzní proud	200 150 100 100
	Poloměr valcív se koule	15 20 40 60
	Jímací soustava	ANO/NE
29	Jímací soustava je zkoordinována s FVE. <i>Poznámka:</i> To, že měl objekt hromosvod před výstavbou FVE neznamena, že FVE bude správně chráněna. Je potřeba ověřit správnosti ochranné funkce hromosvodu i po instalaci nových prvků na stavbu.	ANO
30	Všechny vodivé prvky na střeše (mimo hromosvod) jsou chráněny před přímým úderem blesku, resp. se nacházejí alespoň v LPZ 0B.	ANO
31	Vzdálenost s mezi hromosvodem a prvky FVE je dodržena (v případě nesplnění musí být splněna podmínka níže).	NE
32	Pokud není vzdálenost s dodržena, je hromosvod galvanicky spojen s FVE.	ANO

Poznámky:

29: Jímací soustava je provedena tak, že je fotovoltaika v ochranné zóně LPZ 0B. Bohužel není dodržena minimální vzdálenost s a FVE je propojena skrze hliníkové konstrukce s hromosvodem.

Stavba je zařazena do LPS III.

Soustava svodů		ANO/NE
33	Svody jsou minimálně 2 (1 svod může být je-li proveden vodičem HVI)	ANO
34	Je splněna podmínka pro maximální dovolené vzdálenosti mezi svody (s tolerancí +20 %) dle třídy LPS (viz tabulka). V případě, že podmínka splněná není, je potřeba zřídit větší množství svodů.	ANO
35	Každý svod má své označení	ANO
36	Svody jsou připojené na zemnič svorkou	ANO
37	Je dodržena vzdálenost s mezi svody a vodivými částmi stavby (okapy, vnitřní instalace, zásuvky, klimatizace, tepelná čerpadla apod.).	ANO
<i>Poznámka:</i> V případě spojení jiných vodivých částí se i tyto části stávají potenciálními nosiči bleskového proudu. Je potřeba dodržovat vzdálenost s i od nově spojených částí.		
<i>Poznámky:</i>		

Uzemňovací soustava		ANO/NE
38	Stavba má uzemňovací soustavu	ANO
<i>Poznámka:</i> Pro správnou funkčnost ochranného pospojování je důležitá přítomnost uzemňovací soustavy. Např. u starších staveb se může stát, že nebudou mít žádnou uzemňovací soustavu. V takovém případě je potřeba jí zřídit, např. vykopáním zemního pásu kolem stavby nebo zatlučením zemních kolíků.		
39	Vodivé rámy a profily FVE jsou propojeny vodičem ochranného pospojování	ANO
40	Uspořádání uzemňovací soustavy je A/B	
41	Je splněn požadavek hodnoty zemního odporu, který musí být max. 10 Ohm	ANO
42	Uzemňovací soustava je spojena s MET a veškerým ochranným pospojováním v celé instalaci	ANO
43	V případě uspořádání typu A:	
44	Horní konec svislého zemniče vyčnívá alespoň 0,5 m nad povrchem	
45	V případě uspořádání typu B	ANO
46	Uzemnění je jako: Obvodový zemnič/základový zemnič/náhodný zemnič	
47	Obvodový zemnič je alespoň z 80 % uložen v zemi	ANO
48	Obvodový zemnič je alespoň 0,5 m hluboko a 1 m daleko od obvodu stavby	ANO
49	Základový zemnič je uložen v betonu a tvoří uzavřenou smyčku	
50	Náhodné zemniče splňují podmínky zmíněné v příloze ČSN 62 305-3 ed. 2, které popisují propojení vodivých konstrukcí pro správné galvanické propojení jejich součástí	ANO
<i>Poznámky:</i>		

Č.p.	Sekce 3: Kontrola vnitřní ochrany před bleskem	Splněno?
	Vzdálenosti	ANO/NE
51	Zvolte možnost: vzdálenost mezi FV panely a střídačem je větší/menší než 10 m (po kabelu)	
52	<i>V případě, že je vzdálenost mezi panely a střídačem větší než 10 m:</i>	ANO
53	Je osazen blíže k fotovoltaice další SPD box (dodatečný malý rozváděč se svodiči SPD).	ANO
54	Rozváděč (SPD box) je určený pro DC aplikace. Zároveň je umístěn ve vhodných podmínkách vzhledem ke svému stupni krytí. Jeho umístění je případně v souladu s požadavky výrobce.	ANO
55	SPD se nachází na rozhraní zón LPZ 0/LPZ 1.	ANO
56	Uzemňovací vývod SPD je vyveden na ochranné pospojování. Pokud nastane přepětí, je svedeno nejkratší cestou na přípojnicí.	ANO
57	V případě souběhu vodiče CY, který odvádí přepětí pryč, hrozí indukované přepětí na jiné obvody. V takovém případě jsou i ostatní obvody, opatřeny vhodnými SPD.	ANO

Poznámky:

Č.p.	Rozváděč fotovoltaiky RFVE	ANO/NE
58	DC a AC část je viditelně oddělena (značení, viditelná mezera)	ANO
59	Rozváděč (skříň) je určený pro DC aplikace. Zároveň je umístěn ve vhodných podmínkách vzhledem ke svému stupni krytí. Jeho umístění je případně v souladu s požadavky výrobce.	ANO
Č.p.	RFVE DC	ANO/NE
60	Každý FV string má svou SPD	ANO
61	SPD je určena pro DC aplikace. Nelze osadit na stejnosměrné straně svodič určený pro DC.	ANO
62	SPD je umístěna co nejbliže ke vstupu pracovních vodičů, za vypínačem (je-li osazen).	ANO
63	Pojistkové odpojovače s pojistkami GPV jsou umístěny až za SPD.	NE
64	Žádné pracovní vodiče DC FV systému nejsou v souběhu s výstupním vodičem pospojování CY a nehrozí po svedení přepětí indukce do těchto vodičů.	NE
65	Propojovací vodiče netvoří ostré oblouky z důvodu omezení dynamických účinků	ANO
66	Propojovací vodiče nejsou nadbytečně dlouhé a netvoří žádné smyčky.	ANO
67	Délka připojovacích vodičů (z napájení do SPD a z SPD na uzel země) nepřekračuje délku 0,5 m.	ANO
68	Hodnota jmenovitého napětí SPD je alespoň 1,2 násobek napětí FV stringu naprázdno	ANO

Poznámky:

53: V oblasti půdy je osazen malý SPD BOX s DC SPD.

57: Při svedení přepětí vodičem CY dojde k indukovaní vodičů i za SPD.

58: RFVE DC a RFVE AC jsou dva rozváděče zvlášť.

63: Pojistkové odpojovače v RFVE DC jsou umístěny před SPD DC. Z bezpečnostních důvodů při odvádění přepětí se doporučuje toto pořadí prohodit.

Č.p.	Typizace SPD dle konfigurace je dodržena dle následujících doporučení				ANO/NE
	Oblast	Konfigurace 1	Konfigurace 2	Konfigurace 3	
69	Rozváděč na rozhraní (SPD BOX, pokud je)	T1 nebo T1+T2	T2	T1 nebo T1+T2	ANO
70	RFVE DC	T1 nebo T1+T2	T2	T1 nebo T1+T2	ANO
71	RFVE AC	T1 nebo T1+T2 (nemusí být, pokud je v blízkosti RH)	T2 (nemusí být, pokud je v blízkosti RH)	T1 nebo T1+T2 (nemusí být, pokud je v blízkosti RH)	ANO
72	RH	T1+T2	T1+T2	T1+T2	ANO

Č.p.	RFVE AC	ANO/NE
73	SPD je umístěna co nejbližší ke vstupu pracovních vodičů, za vypínačem (je-li osazen).	NE
74	Propojovací vodiče nejsou nadbytečně dlouhé a nejsou zasmyčkovány. Mají optimální délku.	NE
75	Součet délek přívodních a vývodních vodičů (z napájení do SPD a z SPD na uzel země) nepřekračuje délku 0,5 m.	NE
76	Propojovací vodiče netvoří ostré oblouky z důvodu omezení elektrodynamických účinků.	ANO
77	SPD jsou v rámci celé elektroinstalace mezi sebou zkoordinovány. To znamená, že jsou dodrženy minimální vzdálenosti mezi jednotlivými třídami T1, T2 a T3 (pokud jsou). V případě indukovaného přepětí na jiný okruh dojde vždy k odvedení přepětí skrz SPD do země, nesmí dojít k ohrožení elektrických zařízení.	ANO

Poznámka 1:

Je doporučeno použít svodiče od stejného výrobce v celé instalaci.

Poznámka 2:

Koordinace mezi jednotlivými stupni často zaručena použitím svodičů od stejného výrobce, je však důležité držet se pokyny výrobce SPD. Obecně platí dodržení minimálních vzdáleností mezi stupni T1-T2 a T2-T3, v případě jejich nedodržení lze použít i oddělovacích tlumivek (RTO).

Poznámky:

73: SPD je umístěna za vypínačem, nicméně nelze stanovit, že je co nejbližší k napájecímu vstupu.

74: V RFVE AC se nachází jeden případ svázaných zasmyčkových vodičů, který by mohl být omezen.

75: Vzhledem k poloze přívodu a uzemňovacího vývodu je tato vzdálenost větší než 0,5 m.