

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

**NÁVRH OCHRANY FVE PŘI ÚDERECH
BLESKU A JIŠTĚNÍ DATOVÝCH ROZVODŮ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

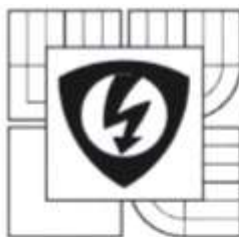
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

BC. VILIAM MANDUCH

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. Viliam Manduch

Ročník: 2

ID: 98380

Akademický rok: 2011/12

NÁZEV TÉMATU:

Návrh ochrany proti úderu blesku a jištění datových rozvodů u FVE

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Prostudujte platnou normu ČSN EN 62305.
2. Navrhněte jímací zařízení na úder blesku pro vytípanou fotovoltaickou elektrárnu.
3. Pokuste se vyhodnotit vliv stínů jímáčů na provoz FVE.
4. Navrhněte způsoby jištění datových linek.
5. Práci zhodnoťte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 18.5.2012

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Radil

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

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

Bibliografická citácia práce:

Manduch, V. Návrh ochrany FVE při úderech blesku a jištění datových rozvodů.

Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 110 s. Vedúci diplomovej práce Ing. Lukáš Radil.

Prehlásenie:

Ako autor uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, hlavne som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúceho autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia § 152 trestného zákona č. 140/1961 Sb.

V Brne dňa:

Podpis autora:

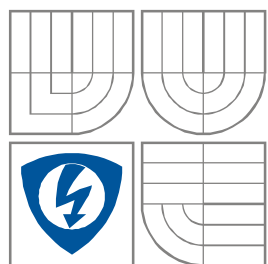
Pod'akovanie:

Touto cestou by som rád poďakoval vedúcemu diplomovej práce a to Ing. Lukášovi Radilovi, za jeho ochotný a profesionálny prístup počas konzultácií. Moja vďaka patrí aj Janovi Hájekovi (DEHN + SÖHNE), za cenné odborné rady pri spracovaní práce a Ing. Martinovi Miklašovi za pomoc pri tvorbe grafických podkladov.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

NÁVRH OCHRANY PROTI ÚDERU BLESKU A JIŠTENÍ DATOVÝCH ROZVODU U FVE

DESIGN OF PROTECTION AGAINST LIGHTNING
AND DATA DISTRIBUTIONS PHOTOVOLTAIC PLANT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. VILIAM MANDUCH

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LUKÁŠ RADIL

BRNO, 2012

ABSTRAKT

Diplomová práca pojednáva o problémoch spätých s atmosférickými výbojmi. Zaoberá sa s ich vznikom, popisom a rozoberá ich nebezpečenstvo, ktorým sú vystavené živé organizmy a objekty. Práca sa zameriava na popis a realizáciu ochrany voči týmto nepriaznivým vplyvom. Jej cieľom je navrhnutie systému ochrany pred bleskom pre vytipovanú FVE elektráreň, aby boli splnené požiadavky dané normou ČSN EN 62305. Súčasťou práce je aj analýza vplyvu tieňa zachytávacej sústavy na výkon sústavy FVE.

KEÚČOVÉ SLOVÁ:

bleskový prúd, prepätie, systém LPS, prepäťové ochrany, metóda ochrany, výkon, tieň, FVE

ABSTRACT

This thesis deals with the problems associated with the lightning. It deals with the establishment, descriptions and analyzes of risk the living organisms and objects are facing. The work focuses on the description and implementation of protection against these adverse effects. Its objective is to devise a system for lightning protection for chosen PV power plant to meet the requirements of standard of EN 62305. The work is also the analysis of shadow effects in the collecting system for PV power systems.

KEY WORDS:

lightning current; overvoltage; LPS system; overvoltage protection; method of protection; power; shadow; FVE;

OBSAH

Zoznam tabuliek	11
Zoznam obrázkov	12
1 Úvod	15
2 Atmosférické javy	16
3 Účinky blesku na stavbu	19
3.1 Potreba a ekonomická výhodnosť ochrany pred bleskom.....	20
3.1.1 Ekonomická výhodnosť ochrany pred bleskom	21
3.2 Ochranné opatrenia	22
3.2.1 Kritéria ochrany pred bleskom stavieb a inžinierskych sietí	23
3.2.1.1 Dostatočná vzdialenosť	25
3.2.2 Zóny ochrany pred bleskom (LPZ)	26
4 Ochrana pred bleskom (LPS)	27
4.1 Vonkajší systém ochrany pred bleskom	28
4.1.1 Zachytávacia sústava	29
4.1.2 Umiestnenie zachytávacej sústavy.....	29
4.1.2.1 Metóda ochranného uhla	31
4.1.2.2 Metóda valiacej sa gule	32
4.1.2.3 Metóda mrežovej sústavy	33
4.1.3 Sústava zvodov	34
4.1.4 Skúšobná svorka	35
4.1.5 Uzemnenie.....	35
4.1.5.1 Uzemnenie typu A	36
4.1.5.2 Uzemnenie typu B	37
4.2 Vnútný systém ochrany pred bleskom	38
4.2.1 Použitie a význam základných ochranných opatrení v LEMPS	39
4.2.1.1 Uzemnenie a pospájanie	40
4.2.1.2 Magnetické tienenie a trasy vedení	40
4.2.1.3 Koordinovaná SPD ochrana	41
4.2.1.3.1 SPD typu 1	43
4.2.1.3.2 SPD typu 2	43
4.2.1.3.3 SPD typu 3	44
4.2.1.3.4 Koordinácia prepäťových ochrán.....	44
4.2.1.3.5 Istenie prepäťových ochrán	46
5 Predstavenie FVE, pre ktorú je navrhovaná ochrana proti blesku.....	47
6 Analýza rizík FVE	48

6.1	Zadané hodnoty FVE	49
6.2	Stanovenie súčastí rizík pre stavbu	50
6.2.1	Stanovenie súčastí rizík spôsobených údermi do stavby	50
6.2.1.1	Súčasť rizika súvisiaca s úrazom živých bytostí R_A :	50
6.2.1.2	Súčasť rizika súvisiaca s hmotnou škodou R_B :	52
6.2.1.3	Súčasť rizika súvisiaca s poruchou vnútorných systémov R_C :	53
6.2.2	Stanovenie súčastí rizík spôsobených údermi v blízkosti stavby.....	53
6.2.2.1	Súčasť rizika súvisiaca s poruchou vnútorných systémov R_M :	53
6.2.3	Stanovenie súčastí rizík, spôsobených údermi do inžinierskej siete, pripojenej k stavbe	54
6.2.3.1	Súčasť rizika súvisiaca s úrazom živých bytostí R_U :	54
6.2.3.2	Súčasť rizika súvisiaca s hmotnou škodou R_V :	56
6.2.3.3	Súčasť rizika súvisiaca s poruchou vnútorných systémov R_W :	57
6.2.4	Stanovenie súčastí rizík, spôsobených údermi v blízkosti inžinierskej siete, pripojenej k stavbe	58
6.2.4.1	Súčasť rizika súvisiaca s poruchou vnútorných systémov R_Z :	58
6.3	Vyhodnotenie rizika	59
6.3.1	Vyhodnotenie rizika pre stavbu.....	59
6.3.2	Overenie vypočítaného rizika pre stavbu pomocou programu "Milanov software pre výpočet rizika podľa ČSN EN 62305"	60
7	Návrh vonkajšej ochrany proti blesku FVE	62
7.1	Návrh vonkajšej ochrany fotovoltaických panelov	62
7.1.1	Návrh zachytávacieho zariadenia fotovoltaických panelov	62
7.1.1.1	Návrh zachytávacej sústavy panelov metódou ochranného uhla	65
7.1.1.2	Návrh zachytávacej sústavy panelov metódou valiacej sa gule	67
7.1.1.3	Návrh vyhotovenia zachytávacieho zariadenia panelov.....	70
7.1.2	Návrh zvodu fotovoltaických panelov	71
7.1.3	Návrh uzemňovacej sústavy pre fotovoltaické pole	72
7.2	Návrh vonkajšej ochrany transformačnej stanice vn/nn	73
7.2.1	Návrh zachytávacej sústavy transformačnej stanice vn/nn	73
7.2.1.1	Návrh zachytávacej sústavy transformačnej stanice vn/nn metódou ochranného uhla	73
7.2.1.2	Návrh zachytávacej sústavy transformačnej stanice vn/nn metódou valiacej sa gule	74
7.2.2	Návrh zvodu transformačnej stanice vn/nn	76
7.2.3	Návrh uzemňovacej sústavy transformačnej stanice vn/nn	76
7.3	Návrh vonkajšej ochrany technických miestností	76
7.3.1	Návrh zachytávacej sústavy technickej miestnosti	77
7.3.1.1	Návrh zachytávacej sústavy technickej miestnosti metódou ochranného uhla	77

7.3.1.2	Návrh zachytávacej sústavy technickej miestnosti metódou valiacej sa gule.....	77
7.3.2	Návrh zvodu technickej miestnosti	78
7.3.3	Návrh uzemňovacej sústavy technickej miestnosti.....	78
8	Návrh vnútornej ochrany proti blesku FVE	80
8.1	Návrh prepäťovej ochrany v jednosmernej časti rozvodu	81
8.1.1	Návrh prepäťovej ochrany v blízkosti panelov	81
8.1.2	Návrh prepäťovej ochrany na vstupe do meniča	83
8.2	Návrh prepäťovej ochrany v striedavej časti rozvodu.....	84
8.2.1	Návrh prepäťovej ochrany v transformačnej stanici.....	84
8.2.2	Návrh prepäťovej ochrany na výstupe z meniča	86
8.3	Návrh prepäťovej ochrany monitorovacích zariadení fve.....	86
9	Vplyv tieňa zachytávacieho zariadenia na prevádzku FVE	89
9.1	analýza výpočtom pohybu Slnka po oblohe.....	89
9.2	Analýza pomocou modelovania FVE v programe Rhinoceros.....	94
9.3	Meranie vplyvu tieňa zachytávacej sústavy na výkon fotovoltického panela	96
9.4	Problematika v praxi	99
	Záver	100
	Použitá literatúra.....	101
	Príloha A	102
	Príloha B	104

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 3-1: Typické hodnoty prípustného rizika [3]	21
Tab. 3-2: Tabuľka maximálnych hodnôt parametrov bleskového prúdu v závislosti na LPL [2] ...	24
Tab. 3-3: Tabuľka minimálnych hodnôt parametrov bleskového prúdu v závislosti na LPL s príslušnými hodnotami polomeru [2]	25
Tab. 4-1: Vzťah medzi LPL a LPS	27
Tab. 4-2: Priradenie objektov podľa dôležitosti do tried LPS [6]	27
Tab. 4-3: Maximálne hodnoty polomeru valiacej sa gule, veľkosti ok a ochranného uhlu priradené jednotlivým triedam LPS [4]	30
Tab. 4-4: Obvyklé vzdialenosti medzi zvodmi a obvodovými vodičmi stanovené na základe triedy LPS [4]	34
Tab. 6-1: Zadaného hodnoty stavby FVE	49
Tab. 6-2: Zadaného hodnoty inžinierskej siete pripojenej k stavbe FVE	49
Tab. 6-3: Hodnoty prípustných rizík pre stavbu FVE	59
Tab. 8-1: Vstupné a výstupné údaje prepojujacej skrine	81
Tab. 8-2: Vstupné a výstupné údaje meničov vo FVE	83
Tab. 8-3: Rozdelenie bleskového prúdu odpovedajúce triede LPS	85
Tab. 9-1: Výška Slnka nad obzorom pre 15. deň v každom mesiaci	91
Tab. 9-2: Azimut Slnka pre 15. deň v každom mesiaci	93
Tab. 9-3: Namerané a vypočítané hodnoty vplyvu tieňa dňa 9.5.2012	97
Tab. 9-4: Zaznamenané hodnoty pyranometra počas merania, dňa 9.5.2012	97

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 2.1: Zoskupenie nabitých častíc pri blesku [1]	16
Obr. 2.2: Charakteristický priebeh krátkeho impulzu [2]	17
Obr. 2.3: Charakteristický priebeh dlhého impulzu [2]	18
Obr. 3.1: Zóny ochrany pred bleskom [5]	26
Obr. 4.1: Sústava vonkajšieho LPS [7]	28
Obr. 4.2: Graf závislosti ochranného uhlu na výške a triede LPS [4]	30
Obr. 4.3: Ochranný priestor vytvorený zachytávacou tyčou alebo vodičom [1]	31
Obr. 4.4: Ochranný uhol v závislosti od posudzovanej roviny [1]	31
Obr. 4.5: Metóda valiacej sa gule [1]	32
Obr. 4.6: Návrh zachytávacieho zariadenia pri stavbách vyšších ako 60 metrov [4]	32
Obr. 4.7: Návrh ochrany pomocou metódy mrežovej sústavy spolu s metódami ochranného uhlu a valiacej sa gule [1]	33
Obr. 4.8: Ochranný priestor tvorený vodorovnými zachytávacími sústavami alebo dvomi zberačmi [5]	34
Obr. 4.9: Minimálna dĺžka uzemnenia l_1 , závislá na triede LPS [4]	36
Obr. 4.10: Uzemnenie typu A – zvislé (tyčové) [8]	37
Obr. 4.11: a) Uzemnenie typu B, b) Riadenie potenciálu obvodovým uzemnením [9]	38
Obr. 4.12: Príklad rozdelenia ochranných zón stavby [10]	39
Obr. 4.13: Rozdelenie kategórií maximálnych impulzných prepätí siete nn $3 \times 400/230$ V [11] ...	42
Obr. 4.14: Náznorná ukážka jednotlivých typov SPD, zoradených v kaskáde, smerom k chránenému zariadeniu [12]	44
Obr. 4.15: Základný model koordinácie energií medzi SPD 1 a SPD 2 [10]	45
Obr. 4.16: Minimálne vzdialenosti koordinácie medzi jednotlivými typmi zvodíčov [12]	45
Obr. 5.1: Predstavenie FVE o výkone 1,19 MW, pre ktorú je navrhovaná ochrana proti blesku....	47
Obr. 6.1: Izokeraunická mapa ČR a SR [13]	51
Obr. 6-2: Obr. 6.2 Výpočet rizík strát pre FVE nechránenú proti bleskom, pomocou programu “Milanov software pre výpočet rizika podľa ČSN EN 62305” [13]	60
Obr. 6.3: Výpočet rizík strát pre FVE chránenú proti bleskom, pomocou programu “Milanov software pre výpočet rizika podľa ČSN EN 62305” [13]	61
Obr. 7.1: Zachytávacia sústava samostatne stojacích stožiarov [12]	63
Obr. 7.2: Sústava oddialených zachytávacích tyčí [12]	63
Obr. 7.3: Sústava zachytávacích tyčí upevnených o nosnú konštrukciu panelov [12]	64
Obr. 7.4: Príklad zachytávacej sústavy vodorovného vedenia v riešení nosnej konštrukcie z dreva [12]	64
Obr. 7.5: Výpočet ochranného uhla pomocou programu Milanův výpočet ochranného uhlu [14] .	66
Obr. 7.6: Metóda ochranného uhla – náhľad na vybranú časť panelov z rohu	66
Obr. 7.7: Metóda ochranného uhla - predný pohľad z kraja prvej rady panelov	67

Obr. 7.8: Metóda valiacej sa gule – guľa sa valí z boku a prechádza ponad konštrukciu panelov ..	68
Obr. 7.9: Metóda valiacej sa gule – guľa sa valí pozdĺž okraja výstavby panelov	68
Obr. 7.10: Metóda valiacej sa gule – guľa sa valí na sústavu predných panelov	69
Obr. 7.11: Metóda valiacej sa gule – guľa sa valí spredu a prechádza ponad sústavu konštrukcií panelov	69
Obr. 7.12: Metóda valiacej sa gule – guľa nachádzajúca sa medzi štyrmi zachytávacími tyčami ..	70
Obr. 7.13: Konštrukčné prevedenie zachytávacieho systému a zvodu	71
Obr. 7.14: Návrh uzemnenia zvodu a kovovej nosnej konštrukcie.....	72
Obr. 7.15: Metóda ochranného uhla – predný pohľad na transformačnú stanicu vn/nn.....	74
Obr. 7.16: Metóda ochranného uhla – bočný pohľad na transformačnú stanicu vn/nn	74
Obr. 7.17: Metóda valiacej sa gule – predný pohľad na transformačnú stanicu vn/nn.....	75
Obr. 7.18: Metóda valiacej sa gule – bočný pohľad na transformačnú stanicu vn/nn	75
Obr. 7.19: Metóda ochranného uhla – predný pohľad na technickú miestnosť	77
Obr. 7.20: Metóda valiacej sa gule – predný pohľad na technickú miestnosť	78
Obr. 7.21: Uzemňovacia sústava FVE	79
Obr. 8.1: Obecná schéma FV zdroje pracujúceho paralelne s distribučnou sieťou [15]	80
Obr. 8.2: Zvodič prepätia DEHNguard DG M YPV SCI 1200 FM [16]	82
Obr. 8.3: Znázornenie zvodiča prepätia DEHNguard DG M YPV SCI 1200 FM v zapojení „Y“ [17].....	82
Obr. 8.4: Princíp zhášania v 3 krokoch zvodiča prepätia DEHNguard Typ DG M YPV SCI 1200 FM v zapojení Y [17]	83
Obr. 8.5: Kombinovaný zvodič prepätia DEHNventil DV M TNC 255 FM [16].....	84
Obr. 8.6: Znázornenie zapojenia „T“ [16]	84
Obr. 8.7: Znázornenie kombinovaného zvodiča prepätia DEHNventil DV M TNC 255 FM v pripojení na sieť a v principiálnom rozdelení bleskového prúdu [12]	85
Obr. 8.8: Kombinovaný zvodič prepätia BLITZDUCTOR XTU [16]	86
Obr. 8.9: Ochranná hladina zvodiča BLITZDUCTOR XTU [16]	87
Obr. 8.10: Zvodič prepätia DEHNrail DR 2P 255FM [16]	88
Obr. 8.11: Principiálne zapojenie zvodiča prepätia DEHNrail DR 2P 255FM na sieť [16].....	88
Obr. 9.1: Grafické znázornenie výšky Slnka nad obzorom pre 15. deň v každom mesiaci	91
Obr. 9.2: Azimut Slnka pre 15. deň v každom mesiaci.....	93
Obr. 9.3: Simulácia tieňa na vzorke panelov FVE dňa 21.12. v čase 12:00	94
Obr. 9.4: Principiálna schéma zapojenia troch bypass diód fotovoltického panela.....	95
Obr. 9.5: Fotografia merania	98
Obr. 9.6: Fotografia zachytávacej tyče	98
Obr. A-0.1: Technické údaje zvodiča prepätia DEHNguard DG M YPV SCI 1200 FM [16]	102
Obr. A-0.2: Technické údaje kombinovaného zvodiča prepätia DEHNventil DV M TNC 255 FM [16].....	102
Obr. A-0.3: Technické údaje kombinovaného zvodiča prepätia BLITZDUCTOR XT [16].....	103
Obr. A-0.4: Technické údaje zvodiča prepätia DEHNrail DR M 2P 255FM [16]	103

Obr. B-0.1	104
Obr. B-0.2	104
Obr. B-0.3	104
Obr. B-0.4	105
Obr. B-0.5	105
Obr. B-0.6	105
Obr. B-0.7	106
Obr. B- 0.8	106
Obr. B-0.9	106
Obr. B-0.10	107
Obr.B-0.11	107
Obr. B-0.12	107
Obr. B-0.13	108
Obr. B-0.14	108
Obr. B-0.15	108
Obr. B- 0.16	109
Obr. B-0.17	109
Obr. B-0.18	109
Obr. B-0.19	110

1 ÚVOD

V posledných rokoch sa výrazne zmenila politika výroby elektrickej energie. Ľudstvo si stále viac začína uvedomovať obmedzené zásoby fosílnych palív s narastajúcim trendom energetických nárokov. K zmene dochádza aj z ekologických aspektov, kedy súčasnou výrobou energií je vysokou mierou zaťažované životné prostredie. V poslednej dobe sa preto čoraz viac prechádza na tzv. „zelenú cestu“ využívania obnoviteľných energií. Bola zaznamenaná mohutná výstavba fotovoltaiických elektrární (FVE) pod záštitou rôznych grantov a finančných úľav v čerpaní „zelených“ bonusov podporovaných štátmi.

S rastúcim počtom fotovoltaiických elektrární sú späté nové problematiky, medzi ktoré patrí aj ich potreba ochrany proti blesku. Touto problematikou sa zaoberá súbor noriem ČSN EN 62305. Ich obsahom sú platné predpisy, postupy a podmienky, za akých sa predvádza návrh, realizácia a kontrola ochranných opatrení proti blesku. Vyhotovenie ochrany zodpovedajúce normám má byť realizované tak, aby nedochádzalo k vzniku ohrozenia na životoch a bolo zabránené škodám na majetku.

Miera pravdepodobnosti zásahu fotovoltaiických elektrární priamym blesku je vysoká. To sa odvíja od ich predispozície, kedy sú zvyčajne stavané na rozsiahlych rovinatých plochách. FVE je treba účelne chrániť taktiež s ohľadom k tomu, že sú so svojím výkonom začlenené do celkovej elektrizačnej sústavy. K pomerne častému ohrozeniu nebezpečnými rázovými vlnami tak môže dochádzať aj od strany pripojenej siete.

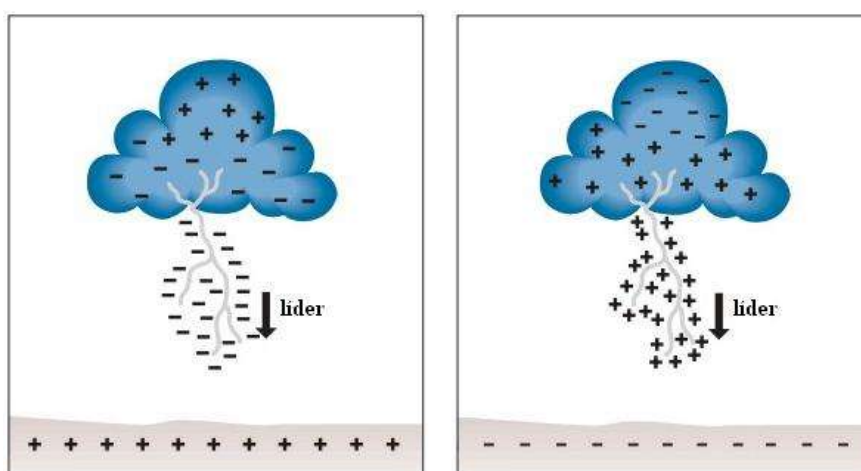
K návrhu účelnej ochrany pred atmosférickými javmi, je vhodné pristúpiť už na samom začiatku stavby FVE. Projektovanie sa skladá z dvoch súvisiacich častí a to vonkajšej a vnútornej ochrany proti blesku. Od prevedenia vonkajšej ochrany, teda bleskozvodu, sa odvíja voľba prevedenia následnej vnútornej ochrany. V jej prípade je dôležité dodržať stav, aby zvolené prepäťové ochrany splňali podmienku vzájomnej koordinácie.

Z pohľadu investora je najdôležitejší zisk celej FVE. Na základe charakteristiky danej lokality a výšky finančných prostriedkov sa tak pristupuje k optimálnemu návrhu celého systému, za účelom dosiahnutia čo najväčšieho zisku. Jedným z nežiaducich vplyvov ktoré predstavujú zníženie efektivity výnosu, je vplyv tieňa na fotovoltaiické panely. Tento jav v určitej miere môže byť zastúpený aj navrhnutým vonkajším systémom ochrany proti blesku.

2 ATMOSFÉRICKÉ JAVY

Predpokladá sa, že vznik atmosférických javov zapríčiňuje stúpanie teplého vzduchu, ktorý so sebou strháva vodnú paru. Rýchlosť stúpania predstavuje až 100 km/h, pričom môžu vznikať mraky s priemerom až 10 km, vo výške 5-12 km nad povrchom zeme.

V mraku vznikajú elektrostatické náboje v dôsledku prudkého prúdenia. Nabité častice sa rozložia tak, že horná časť mraku bude kladného náboja a spodná záporného, alebo opačne. K výboju dochádza vtedy, ak rozdielny potenciál nazhromaždených nabitých častíc prekročí priernu pevnosť vzduchu. Ionizovaným vzduchom sa uzavrie vodivý kanál a dochádza k vybitiu energie. Vo väčšine prípadov dochádza k výbojom medzi mrakmi a približne každý štvrtý výboj udrie do zeme - blesk. V prípade uzatvárania kanála medzi mrakom a zemou je na povrchu zeme nazhromaždený náboj opačnej polarity, čím napomáha k uzavretiu vodivého kanála.



Obr. 2.1: Zoskupenie nabitých častíc pri blesku [1]

Nebezpečenstvo úderu blesku do objektu je značné. Je preto potrebné sa voči nemu dobre chrániť. Ochranu pred bleskom stanovuje norma ČSN EN 62305, platná od roku 2006. Norma udáva potrebu chránenia nielen živých bytostí pred úrazom elektrickým prúdom blesku, ale aj stavieb, zariadení a inžinierskych sietí. Tie by mohli byť dôsledkom výboja poškodené, či zničené.

Blesk je prírodným úkazom a fenoménom, avšak pre život človeka na zemi je veľmi nepriaznivý. Výboj je sprevádzaný svetelným a zvukovým efektom. Intenzita blesku môže dosahovať 2 kA – 200 kA s dobou trvania čela do 10 μ s a teplotou vodivého kanála až 10 000 °C.

Dôležité parametre blesku sú:

- amplitúda,
- čas nábehu a doznievania,
- strmosť (di/dt),
- polarita,
- náboj,
- špecifická energia (W/R),
- počet úderov nutných na vybitie.

Blesky je možno rozlišovať podľa:

a) základného rozlíšenia počiatočného lídra:

- zostupné blesky začínajúce zostupným lídrom z mraku k zemi
- výskyt prevažne v rovinatých oblastiach a nižších stavbách.
- vzostupné blesky začínajúce vzostupným lídrom z uzemnenej stavby k mraku
- dochádza k nemu pri vysokých stavbách. S výškou rastie aj pravdepodobnosť úderu.

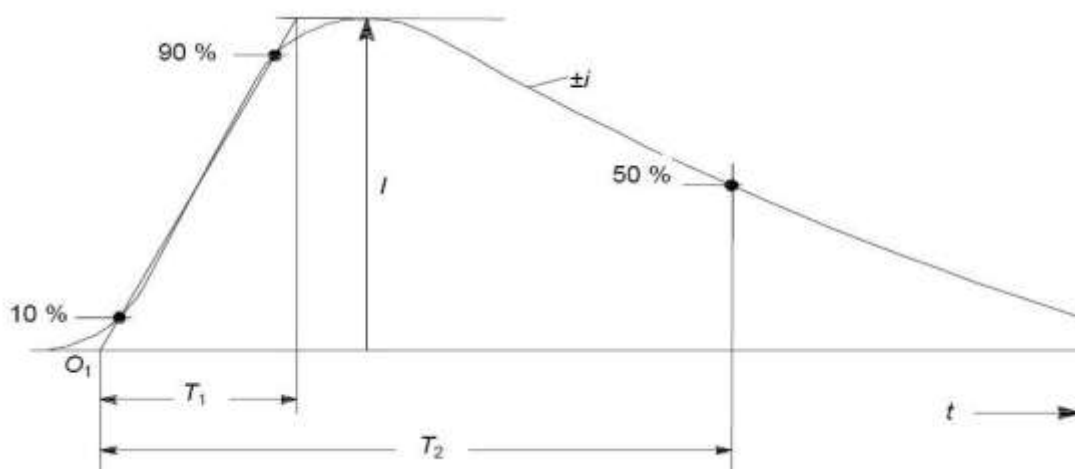
b) polarita:

- kladné – tvoria 10 % všetkých bleskov,
- záporné – 90 % .

c) doby trvania:

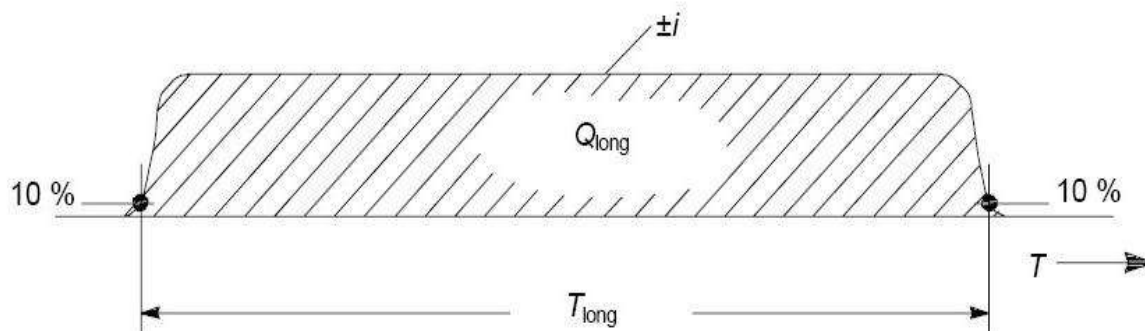
- bleskový výboj sa vyvíja postupne a je tvorený z jedného alebo viacerých čiastkových výbojov.

- krátke výboje – doba trvania polvlny do 2 ms,
- dlhé výboje – doba trvania polvlny nad 2 ms.



Obr. 2.2: Charakteristický priebeh krátkeho impulzu [2]

kde: O_1 – je efektívny počiatok,
 I – vrcholová hodnota prúdu,
 T_1 – doba čela,
 T_2 – doba polvlny.



Obr. 2.3: Charakteristický priebeh dlhého impulzu [2]

kde: T_{long} – doba trvania,
 Q_{long} – náboj dlhého výboja.

Blesk je laicky nepredvídateľný jav, ku ktorému dochádza pri búrkovej činnosti. V takom prípade môže byť pre človeka životu nebezpečné vyskytovať sa v nechránených vonkajších priestoroch. Obzvlášť vo vysokých polohách, rovinatých oblastiach bez vyšších objektov, či v blízkosti dobre vodivých objektov, kde môže dôjsť k preskoku elektrického oblúka. Najlepšou možnosťou ochrany, ako osôb tak i zvierat, je v takomto prípade výskyt v účinne chránených stavbách. Tým sa rozumejú stavby, ktoré podľa svojho účelu – dôležitosti, sú primerane chránené pred bleskovým prúdom. Pojem objekt je spoločným názvoslovím pre stavbu a inžiniersku sieť. Pri návrhu systému ochrany pred bleskom sa zohľadňujú rôzne kritériá, z čoho plynie stupeň ochrany pred možným rizikom vzniku škody.

3 ÚČINKY BLESKU NA STAVBU

Z hľadiska účinkov blesku sú za charakteristické vlastnosti stavby považované tie, ktoré sa týkajú:

- konštrukcie - môže byť drevená, tehlová, betónová, železobetónová, oceľová skeletová konštrukcia,
- účelu - obytný dom, kancelária, hospodárska stavba, divadlo, hotel, škola, nemocnica, múzeum, kostol, väzenie, obchodný dom, banka, továreň, priemyslový podnik, športový areál,
- obyvateľov a obsahu - osoby a zvieratá, prítomnosť horľavých alebo nehorľavých materiálov, explozívne alebo neexplozívne materiály, elektrické a elektronické systémy s nízkym alebo vysokým výdržným napätím,
- pripojených inžinierskych sietí - silnoprúdové elektrické vedenie, telekomunikačné vedenie, potrubie,
- miery rozšírenia nebezpečenstva - stavba s problémami evakuácie alebo stavby, kde môže vzniknúť panika, stavby nebezpečné pre okolie, stavby nebezpečné pre životné prostredie.

Norma ČSN EN 62305 rozlišuje možné typy škody na stavbách, ktoré sú spôsobené bleskovým prúdom, vzhľadom k miestu ich úderu. A to:

- S1 – údery do stavby,
- S2 – údery v blízkosti stavby,
- S3 – údery do inžinierskych sietí pripojených k stavbe,
- S4 – údery v blízkosti inžinierskych sietí pripojených k stavbe.

Údery S1 a S3 predstavujú najväčšie nebezpečenstvo škôd, pričom priame údery do stavby sú považované za najnebezpečnejšie. Pri type S1 môže nastať úraz živých bytostí krokovým napätím, ale aj napätím dotykovým, ktoré predstavuje nebezpečenstvo aj v prípade S2. Taktiež hrozí nebezpečenstvo výbuchu a požiaru. Zároveň všetky typy úderov ohrozujú vnútorné zariadenia. K poškodeniu môže dôjsť aj pri vzdialenejších úderoch v prípade citlivých zariadení.

Jednotlivé prípady úderov blesku zapríčiňujú škody, ktorých charakter môžeme rozdeliť do troch skupín:

- D1 – úraz živých bytostí spôsobený dotykovým a krokovým napätím,
- D2 – hmotné škody (požiar, výbuch, mechanickú deštrukciu, únik chemikálií) spôsobenú účinkami bleskového prúdu v rátane iskrenia,
- D3 – poruchy vnútorných systémov spôsobené LEMP.

Všetky škody v závislosti od daného typu a charakteru objektu môžu spôsobiť straty. Typy strát delíme na:

- L1 – straty na ľudských životoch,
- L2 – straty na službách verejnosti,
- L3 – straty na kultúrnom dedičstve,
- L4 – straty ekonomickej hodnoty (tým sa myslia - stavby a ich obsah, inžinierske siete, strata činnosti).

Straty typu L1, L2, L3 považujeme za straty spoločenských hodnôt a L4 ako čisto ekonomické straty.

3.1 POTREBA A EKONOMICKÁ VÝHODNOSŤ OCHRANY PRED BLESKOM

Projektant musí zvážiť a navrhnúť, či je potrebné chrániť objekt pred bleskom a stanoviť tak zodpovedajúci systém ochrany. Je nevyhnutné, aby sa pri riešení odvíjal od konzultácie s majiteľom, prípadne úradmi kompetentnými rozhodovať v tejto veci. Pri návrhu je potrebné stanoviť riziká súvisiace s jednotlivými typmi strát. Ich vyhodnotenie musí prebehnúť podľa platných postupov uvádzaných v *IEC 62305-2*.

Riziko R predstavuje hodnotu pravdepodobných priemerných ročných strát. Rozlišujeme a oceňujeme riziká na základe objektu, v ktorom vznikajú. Ocenenie rizika delíme na:

Ocenenie rizika na stavbe:

- R1 – riziko strát na ľudských životoch,
- R2 – riziko strát na verejných službách,
- R3 – riziko strát na kultúrnom dedičstve,
- R4 – riziko strát ekonomických hodnôt.

Ocenenie rizika v inžinierskych siet'ach:

- R'2 - riziko strát na verejných službách,
- R'4 – riziko strát ekonomických hodnôt.

Celkové riziko R tvorí súčet jemu odpovedajúcich súčastí. Ich definovanie a výpočet závisí na príčine a type možnej škody.

Podľa *IEC 62305-1* sa stanovuje postup o rozhodnutí chránenia stavby, či inžinierskej siete, ako aj výber ochranných opatrení:

- identifikácia chráneného objektu a jeho charakteristiky,
- určenie všetkých typov strát v objekte a príslušných odpovedajúcich rizík R (R1 až R4),
- stanovenie rizika R pre každý typ strát (R1 až R4),

- ocenenie potreby ochrany, porovnaním rizika R_1, R_2 a R_3 pre stavbu a R_2 pre inžiniersku sieť s prípustným rizikom R_T ,
- ocenenie efektívnosti nákladov na ochranu porovnaním nákladov na celkové straty s ochrannými opatreniami a bez nich. Pre ocenenie týchto nákladov musí byť v tomto prípade spravený odhad súčastí rizika R_4 pre stavbu (R_4 pre inžiniersku sieť). [3]

Prípustné riziko R_T predstavuje hodnotu maximálnu, ktorú je možné pripustiť pre daný chránený objekt. Ak nastane stav R (R_1 až R_3) $> R_T$, riziko prekročí únosnú hodnotu a vzniká potreba chrániť objekt. Pokiaľ sa v objekte môže vyskytnúť viacero strát (L_1 až L_3), musí pre každý typ strát byť splnená podmienka $R \leq R_T$.

O hodnote R_T v prípade strát spôsobených úderom blesku, týkajúcich sa strát na ľudských životoch, spoločenských a kultúrnych, rozhodujú kompetentné orgány.

Typy strát	$R_T (y^{-1})$
Straty na ľudských životoch alebo trvalé úrazy	$10^{(-5)}$
Strata verejnej služby	$10^{(-3)}$
Strata kultúrneho dedičstva	$10^{(-3)}$

Tab. 3-1: Typické hodnoty prípustného rizika [3]

3.1.1 Ekonomická výhodnosť ochrany pred bleskom

V praxi je okrem účelne navrhnutého systému chránenia vyhovujúceho platným normám dôležité aj ekonomické zohľadnenie systému. Môže nastať situácia, že systém ochrany pred bleskom síce spĺňa požiadavky noriem, ale náklady na jeho realizáciu sú príliš vysoké. Za neefektívne sa považuje chrániť objekty rovnako a čo možno najdokonalejšie. Pri navrhovaní ochranného systému by sa preto mala rozlišovať dôležitosť objektu z hľadiska možných strát.

Systém ochrany pred bleskom je možno považovať za nákladovo neefektívny, ak platí:

$$C_L > C_{RL} + C_{PM} \quad (3.1)$$

kde: C_L – cena celkových strát bez použitia ochranných opatrení,
 C_{RL} – cena zostatkových strát pri použití ochranných opatrení,
 C_{PM} – cena ochranných opatrení.

Naopak nákladovo efektívny systém ochrany pred bleskom predstavuje nasledujúca nerovnosť. Tá ak je splnená, je počas doby životnosti objektu predpoklad úspory peňazí.

$$C_L < C_{RL} + C_{PM} \quad (3.2)$$

3.2 OCHRANNÉ OPATRENIA

Pre zníženie rizika môžu byť prijaté ochranné opatrenia vzhľadom k tomu, o aký typ poškodenia ide, a to:

1) *Ochranné opatrenia pre obmedzenie úrazu živých bytostí spôsobených dotykovým a krokovým napätím*

Medzi možné ochranné opatrenia patrí:

- zodpovedajúca izolácia nechránených vodivých častí,
- vyrovnanie potenciálu prostredníctvom mrežovej uzemňovacej sústavy (nepôsobí proti dotykovému napätiu),
- fyzické prekážky a výstražné tabuľky,
- zvýšenie povrchovej rezistivity pôdy vo vnútri a mimo stavby.

2) *Ochranné opatrenia pre zníženie hmotných škôd*

Medzi možné ochranné opatrenia zaradujeme:

a) pre stavby

- systém ochrany pred bleskom (LPS),
- pri použití LPS je pre zníženie nebezpečenstva vzniku požiaru vhodné vyrovnanie potenciálu,
- pre zníženie hmotnej škody použitie ohňovzdorných prekážok, hasiacich prístrojov, hydrantov, požiarnej signalizácie a systémov hlásenia,
- chránené únikové cesty pre ochranu osôb.

b) pre inžinierske siete

- tieniace vodiče.

- poznámka: Pri podzemných sieťach je doporučené ako vhodnú ochranu voliť kovové kanály.

3) *Ochranné opatrenia pre zníženie porúch elektrických a elektronických systémov*

Medzi možné ochranné opatrenia zaradujeme:

a) pre stavby

- systémy opatrení proti LEMP (LPMS) pozostávajú z nasledovných, buď jednotlivo alebo v ich kombinácii:

- opatrenie pre uzemnenie a pospojovanie,
- magnetické tienenie,

- smerovanie vedení,
- koordinovaná ochrana pomocou SPD.

b) pre inžinierske siete

- prepäťové ochranné zariadenia (SPD) v rôznych miestach pozdĺž dĺžky vedení a na koncoch vedení,
- magnetické tienenie káblov,
- zvýšenie maximálne dovoleného napätia izolácie zariadení a káblov kvôli vznikajúcim prepätiam,
- účinnými opatreniami pre dodržanie dodávky elektrickej energie pri výpadku sú – zálohovanie ciest, záložné zariadenie, autonómny systém výroby energie, bezvýpadkový záložný energetický systém, systémy skladovania palív a systémy automatickej detekcie porúch. [2]

Voľba najvhodnejších ochranných opatrení závisí na dohode projektanta s majiteľom po prekonzultovaní typu a možného rozsahu každého druhu škôd a pri posúdení ich technických a ekonomických aspektov.

Ochranné opatrenia sú efektívne, ak zodpovedajú príslušným normám a sú schopné zniesť predpokladané zaťaženie v mieste ich výskytu.

3.2.1 Kritéria ochrany pred bleskom stavieb a inžinierskych sietí

Ideálne chránenie objektu by predstavovalo uzatvorenie celého objektu vo vnútri uzemneného a dokonalo vodivého súvislého tienenia zodpovedajúcej hrúbky. Všetky vstupy inžinierskych sietí do stavby by pritom boli na vstupe pospájané, aby zodpovedali platným predpisom.

V praxi nie je niekedy možné previesť chránenie v plnom rozsahu a zväčša ani ekonomicky výhodne. Do stavby tak prenikajú nedostatočným tienením elektromagnetické impulzy, ktoré majú za následok straty.

Straty od bleskového prúdu závisia na súbore hodnôt, z ktorých vyplýva príčina vzniku strát. Rozhodujúca je ich veľkosť. Na základe predpokladaných hodnôt sú určované ochranné opatrenia a voľba ich parametrov. Zabraňujú tak možným následkom, čím sa docieľuje optimálnosť stanovenia rozsahu ochrany. Na základe toho sú normou dané tzv. hladiny ochrany pred bleskom (LPL), definované minimálnymi a maximálnymi hodnotami bleskového prúdu. Norma udáva štyri hladiny LPL (I až IV) pre jednotlivé typy výbojov.

Prvý krátky výboj			LPL			
Parametre prúdu	Označenie	Jednotka	I	II	III	IV
Vrcholový prúd	I	kA	200	150	100	
Náboj krátkeho výboja	Q	C	100	75	50	
Špecifická energia	W/R	MJ/Ω	10	5,6	2,5	
Časové parametre	T ₁ /T ₂	μs/μs	10/350			
Následný krátky výboj			LPL			
Parametre prúdu	Označenie	Jednotka	I	II	III	IV
Vrcholový prúd	I	kA	50	37,5	25	
Stredná strmosť	di/dt	kA/μs	200	150	100	
Časové parametre	T ₁ /T ₂	μs/μs	0,25/100			
Dlhý výboj			LPL			
Parametre prúdu	Označenie	Jednotka	I	II	III	IV
Náboj dlhého výboja	Q _{long}	C	200	150	100	
Časové parametre	T _{long}	S	0,5			
Výboj			LPL			
Parametre prúdu	Označenie	Jednotka	I	II	III	IV
Náboj výboja	Q _{flash}	C	300	225	150	

Tab. 3-2: Tabuľka maximálnych hodnôt parametrov bleskového prúdu v závislosti na LPL [2]

Pre maximálne hodnoty parametrov jednotlivých hladín LPL platí, že ich úrovne sú vypočítané od najväčšej hodnoty percentuálne (prislúchajúcej LPL I) a to I, Q, di/dt lineárne a W/R kvadraticky. Hladina LPL II zodpovedá 75 %, LPL III a IV 50 %.

Návrh komponentov vychádza z maximálnych hodnôt, ktoré musia takúto energiu účinne vydržať. Testovanie prebieha v špeciálnych laboratóriách, kde sa vystavujú umelo vyvolaným parametrom bleskového prúdu. Pre jednotlivé hladiny ochrany sa definujú predovšetkým prierezy vodičov, hrúbky kovových tienení, prúdová zaťažiteľnosť SPD a dostatočná vzdialenosť proti nebezpečnému iskreniu.

Mechanické účinky bleskového prúdu sú závislé na vrcholovej hodnote prúdu a špecifickej energii. Vznik tepelných účinkov je zapríčinený špecifickou energiou, ak je zahrnutá odporová väzba a tiež na náboji, v prípade rozvinutia oblúku k inštalácii. Prepätie a nebezpečné iskrenie vyvoláva indukčná väzba. Tá závisí na priemernej strmosti čela bleskového prúdu.

Minimálne hodnoty majú naopak význam pri určovaní geometrických hraníc (ochranných zón) pre jednotlivé ochranné hladiny, ktoré nesmú byť zasiahnuté priamym úderom blesku. Slúžia konkrétne pre určenie polomeru valiacej sa gule, čo je účinná metóda využívaná pri návrhu vonkajšej ochrany pred bleskom. Polomer gule závisí na vrcholovej hodnote prvého krátkeho výboja.

Vypočíta sa pomocou nasledujúceho vzťahu:

$$r = 10 \cdot I^{0,65} \quad (3.3)$$

kde: r – polomer valiacej sa gule [m],
 I – vrcholový prúd výboja [kA].

Ochranný systém funguje tak, že prúdy blesku sú zachytené zachytávacím zariadením, ak majú hodnoty väčšie ako minimálne danej hladiny LPL. Každý hladine zodpovedá určitý polomer.

Kritéria zachytenia			LPL			
	Označenie	Jednotka	I	II	III	IV
Minimálny vrcholový prúd	I	kA	3	5	10	16
Polomer valiacej sa gule	r	m	20	30	45	60

Tab. 3-3: Tabuľka minimálnych hodnôt parametrov bleskového prúdu v závislosti na LPL s príslušnými hodnotami polomeru [2]

Predpokladá sa, že minimálne a maximálne hodnoty blesku hladiny LPL I nebudú prekročené s pravdepodobnosťou väčšou ako 2 %, pričom neprekročenie maximálnych hodnôt s pravdepodobnosťou 99 %.

3.2.1.1 Dostatočná vzdialenosť

Dostatočná vzdialenosť zabraňuje bleskovému prúdu, pri prechode vonkajším systémom ochrany objektu, jeho nežiaducemu pôsobeniu voči vnútorným systémom a inštaláciám. Nedodržaním potrebnej elektrickej izolácie môže nastať nebezpečné iskrenie aj vniknutie energie do chráneného objektu. Dôvodom je silné elektromagnetické pole blesku. Vyhovujúca elektrická izolácia sa dosiahne vzdialenosťou d , ktorá má byť väčšia ako dostatočná vzdialenosť s . Tá sa určí použitím vzťahu:

$$s = k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} \cdot L \quad (3.4)$$

kde: k_i – koeficient závisiaci na zvolenej triede LPS,
 k_c – koeficient závisiaci na bleskovom prúde tečúcom zvodmi,
 k_m – koeficient závisiaci na materiáli elektrickej izolácie,
 L – dĺžka pozdĺž zachytávacej sústavy alebo zvodu. Začína od miesta, kde je zisťovaná dostatočná vzdialenosť a končí v najbližšom bode ekvipotenciálneho pospájania.[4]

3.2.2 Zóny ochrany pred bleskom (LPZ)

Použitie ochranných opatrení ako napríklad LPS, tieniace vodiče, magnetické tienenie a SPD rozhodujú o zóne ochrany pred bleskom. Platí, že čím vyššie je číslo zóny, tým nižšie je pôsobenie elektromagnetického poľa.

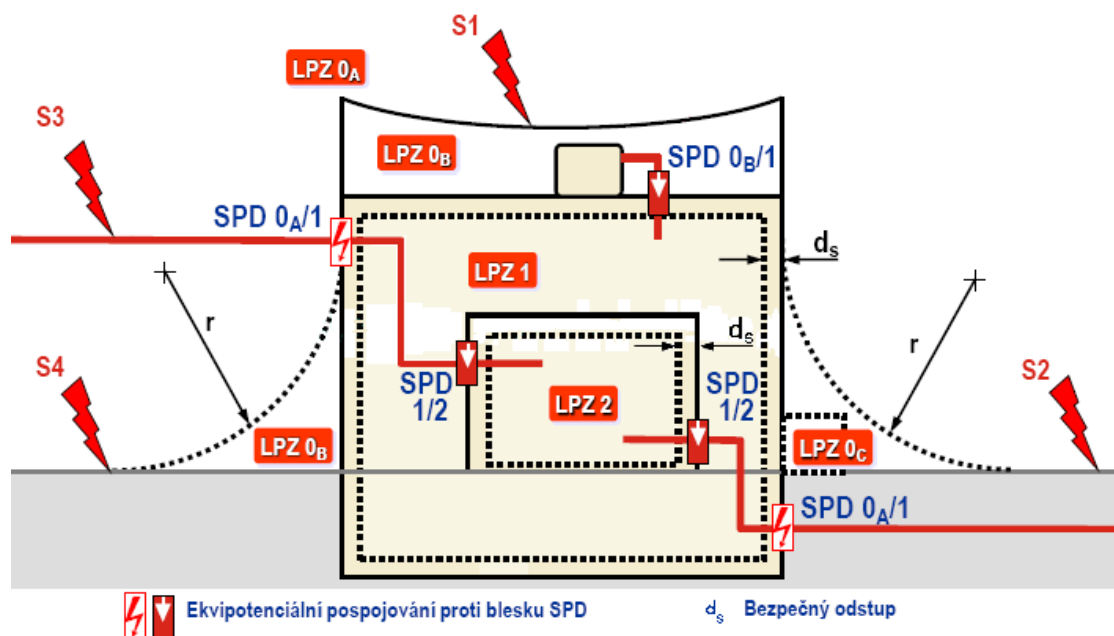
Zóny ochrany pred bleskom delíme na:

LPZ 0A – nechránený priestor mimo objektu bez tienenia pred rušivými elektromagnetickými vplyvmi, kde môže nastať priamy úder blesku,

LPZ 0B – priestor v ochrannom pásme bleskozvodu, v ktorom sa nenachádzajú žiadne prepäťové chrániče,

LPZ 1 – priestor vo vnútri budovy chránený bleskozvodom, tienením budovy, pospájaním, a v ktorom sú aktívnou ochranou chránené všetky vstupné cesty rušenia. Možnosť vniknutia čiastkových bleskových prúdov z vodičmi s nízkou energiou,

LPZ 2,...,n – priestory vo vnútri budovy, nachádzajúce sa v priestoroch nižších zón. Sú chránené bleskozvodom, prídavným tienením (môže byť náhodné alebo umelo vytvorené), pospájaním a z vodičmi bleskového prúdu. V zónach je možnosť výskytu nízkych prepätí a elektromagnetických impulzov, pričom účinným tienením môže byť dosiahnutá ich eliminácia.



Obr. 3.1: Zóny ochrany pred bleskom [5]

4 OCHRANA PRED BLESKOM (LPS)

Každému stupňu ochrannej hladiny na základe normy zodpovedá rovnaký stupeň (trieda) systému ochrany pred bleskom (LPS). Ako chrániť objekt nás vedie k určeniu parametrov LPS. Rozhodnutie závisí na charaktere vlastností konkrétneho objektu a o akú hladinu LPL ide.

LPL	Trieda LPS
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Tab. 4-1: Vzťah medzi LPL a LPS

Trieda LPS tak určuje dôležitosť objektu. Najnižšie číslo predstavujú objekty s najväčšou prioritou ochrany. Pri nich by škody znamenali najväčšie straty spoločenských a ekonomických hodnôt. K najdôležitejším objektom preto radíme tie, pri ktorých by úderom blesku mohlo nastať vysoké riziko ohrozenia na ľudských životoch a spoločenský kolaps.

Trieda ochrany	Objekt
I	nemocnice, banky, elektrárne, vodárne
II	školy, supermarkety, katedrály
III	obytné domy, rodinné domy
IV	objekty a haly bez výskytu osôb a vnútorného vybavenia

Tab. 4-2: Priradenie objektov podľa dôležitosti do tried LPS [6]

Triedu LPS je možno charakterizovať dvomi skupinami parametrov a to:

a) hodnotami závislými na triede LPS:

- parametre blesku,
- polomer valiacej sa gule, veľkosť ochranného uhlu a ok mrežovej sústavy,
- typické vzdialenosti medzi zvodmi a medzi okružnými vodičmi,
- dostatočná vzdialenosť proti nebezpečnému iskreniu,
- minimálna dĺžka zemniča.

b) hodnotami nezávislými na triede LPS

- ekvipotenciálne pospájanie proti blesku (vyrovnanie potenciálu),
- minimálna hrúbka kovového oplechovania alebo kovového potrubia zachytávacej sústavy,
- materiály LPS a podmienky použitia,

- materiál, tvary a minimálne rozmery zachytávacej sústavy, zvodov a uzemňovacej sústavy,
- minimálne rozmery spojovacích vodičov.

- poznámka: niektoré problematiky budú rozoberané nižšie.

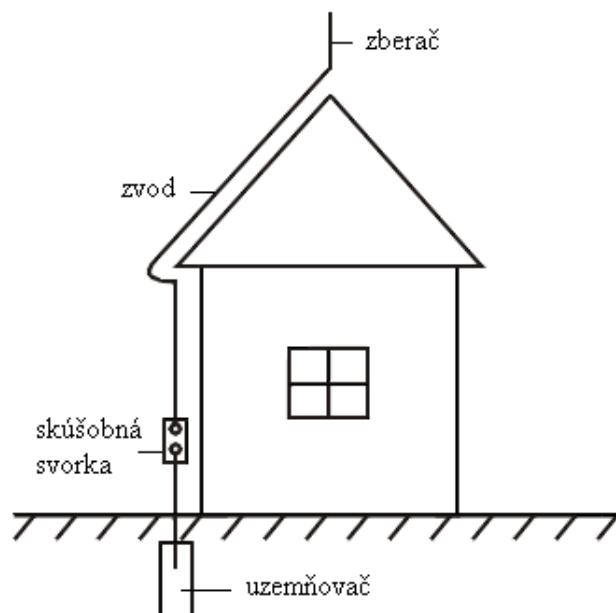
Súbor ochranných opatrení má za úlohu ochranu objektov, ich obsahu a živých bytostí. Vzhľadom k tomu či ide o ochranu pred priamym úderom alebo elektromagnetickým impulzom, rozlišujeme systémy na vnútorné a vonkajšie.

4.1 VONKAJŠÍ SYSTÉM OCHRANY PRED BLESKOM

Vonkajší systém ochrany chráni objekty pred priamym úderom blesku. Má za úlohu zachytiť a zvieŕ elektrický náboj blesku v čo možno najkratšom čase po najkratšej dráhe do zeme, kde sa má energia účinne rozptýliť. Má zabrániť vzniku veľkých rozdielov potenciálu, elektrických výbojov a prierazov v chránenom objekte.

Systém ochrany pozostáva z principiálne a konštrukčne odlišných súčastí, navzájom spojených, tvoriac tak funkčný celok nazývaný hromozvod. Jednotlivé časti hromozvodu plnia funkcie:

- zachytávacie zariadenie – zachytáva údery blesku do objektu,
- sústava zvodov – bezpečné zvedenie bleskového prúdu do zeme,
- skúšobná svorka – slúži pre meranie celkového odporu uzemňovacej sústavy,
- uzemňovacia sústava – rozptýlenie bleskového prúdu.



Obr. 4.1: Sústava vonkajšieho LPS [7]

Pri všetkých častiach bleskozvodu, okrem skúšobnej svorky, je normou doporučené zahrnúť do sústavy bleskozvodu všetky náhodné kovové súčasti, ak spĺňajú požiadavky normy. Musia zniesť elektromagnetické účinky bleskových prúdov a predvídateľné náhodné namáhania bez poškodenia. Rozhodnutie o ich začlenení do sústavy bleskozvodu sa odvíja od už úspešne vyskúšaných súčastí rovnakého charakteru podľa EN 50164. Náhodnými súčastami je možné znížiť investičné náklady a zlepšiť vlastnosti vonkajšieho LPS.

4.1.1 Zachytávacia sústava

Správne navrhnuté zachytávacie zariadenie výrazne zníži pravdepodobnosť vniknutia bleskového prúdu do objektu. Návrh zachytávacieho zariadenia závisí na konkrétnych podmienkach tvaru vrchných plôch chráneného objektu. Môže pozostávať z nasledujúcich typov samostatne alebo ich kombinácií:

- a) zachytávacie tyče (v rátane samostatne stojacích stožiarov),
- b) závesné laná,
- c) mrežové vodiče.

V prípade, ak si podmienky vyžadujú ich kombináciu (členitosť plochy striech, prípadný výskyt zariadení), musia byť sústavy navzájom prepojené tak, aby nastalo rovnomerné rozdelenie bleskového prúdu.

Zachytávacia sústava môže byť riešená izolovane alebo neizolovane. To závisí od toho, či je výhodná s ohľadom na materiál tvoriaci stavbu, alebo nebezpečné prostredie predstavujúce riziko požiaru či výbuchu. Voľba riešenia sa odvíja aj od predpokladu, či sa v budúcnosti predpokladá zmena chránenej plochy.

Izolované sústavy sú riešené stožiarmi so zachytávacími tyčami, prípadne závesnými lanami v blízkosti chránených objektov. Neizolované zberače sú inštalované priamo na objekte. Môžu byť položené aj na povrchu objektu, ak to dovoľujú podmienky bezpečnosti. Inak hrozí nebezpečenstvo od bleskového prúdu, kedy treba dodržať dostatočnú vzdialenosť od povrchu pomocou dištančných úchytiel. Najmenej 10 cm.

4.1.2 Umiestnenie zachytávacej sústavy

Základný predpoklad zachytenia blesku smerujúceho do objektu je vysunutie vodivých častí nad ochrannú úroveň, aby bol objekt účinne tienенý. Tým sa myslí inštalovanie zachytávajúcich vodičov prevažne na vrchných častiach objektu a to v rohoch, exponovaných miestach a hranách. To neplatí pri stavbách vyšších ako 60 m, kde hrozí nebezpečenstvo bočných úderov. Stavby prekračujúce túto úroveň je nutné opatriť tienením vrchných 20 % z celkovej výšky stavby, ako aj zariadení na nich umiestnených. Pri vysokých stavbách nad úrovňou 120 m je potrebné chrániť všetky ohrozené časti, kvôli vysokej pravdepodobnosti úderu blesku.

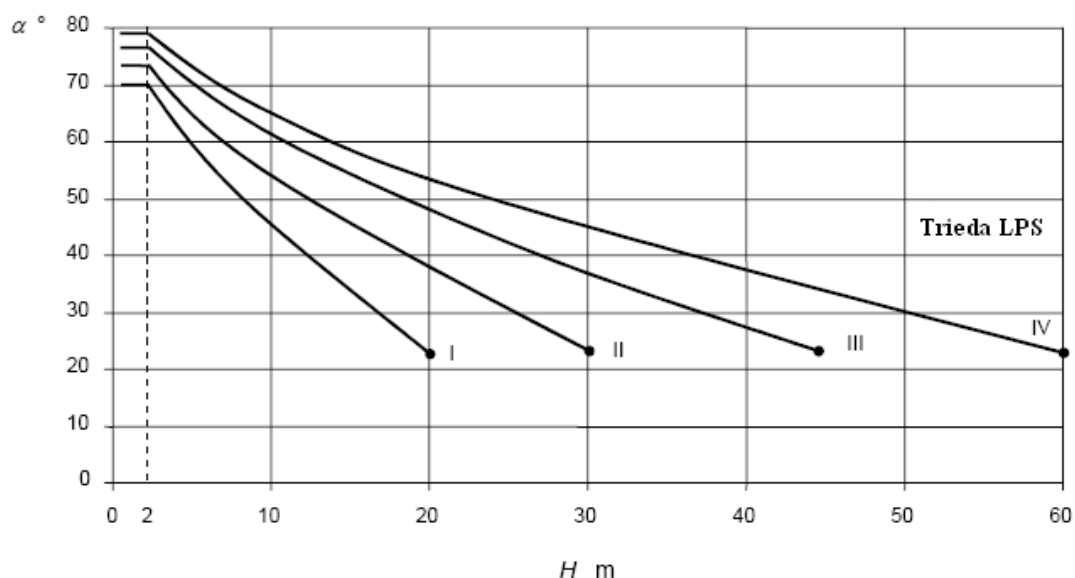
Pre návrh vhodného rozmiestnenia zachytávacích vodičov je možnosť použitia troch metód:

- metóda ochranného uhla,
- metóda valiacej sa gule,
- metóda mrežovej sústavy.

Pri návrhu sa môže vychádzať z jednej, či viacerých metód súčasne. Najviac sa uplatňuje metóda valiacej sa gule. S touto metódou sa dá vychádzať pri každom návrhu. Metóda ochranného uhla je vhodná pre jednoduché stavby. Obmedzenie má čo sa týka výšky zachytávacích vodičov. Naopak metóda mrežovej sústavy je výhodná len v prípade rovných plôch.

Trieda LPS	Metódy ochrany		
	Polomer valiacej sa gule r [m]	Veľkosť ok W [m]	Ochranný uhol α [°]
I	20	5×5	Vid' obrázok nižšie
II	30	10×10	
III	45	15×15	
IV	60	20×20	

Tab. 4-3: Maximálne hodnoty polomeru valiacej sa gule, veľkosti ok a ochranného uhlu priradené jednotlivým triedam LPS [4]



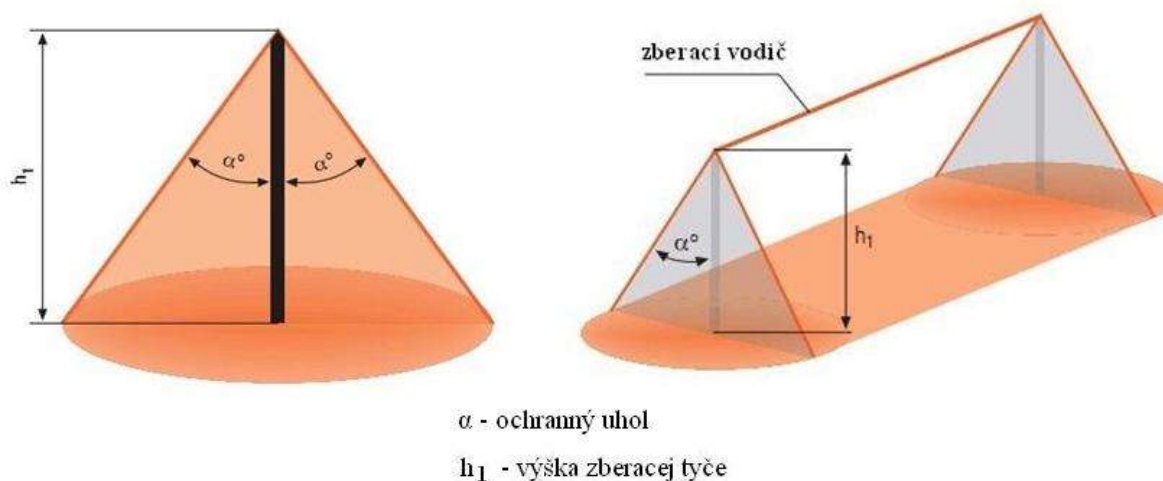
Obr. 4.2: Graf závislosti ochranného uhlu na výške a triede LPS [4]

- poznámka: Od úrovne výšky, kde končí závislosť každej triedy LPS bodkou, musí byť použitá metóda valiacej sa gule.

4.1.2.1 Metóda ochranného uhla

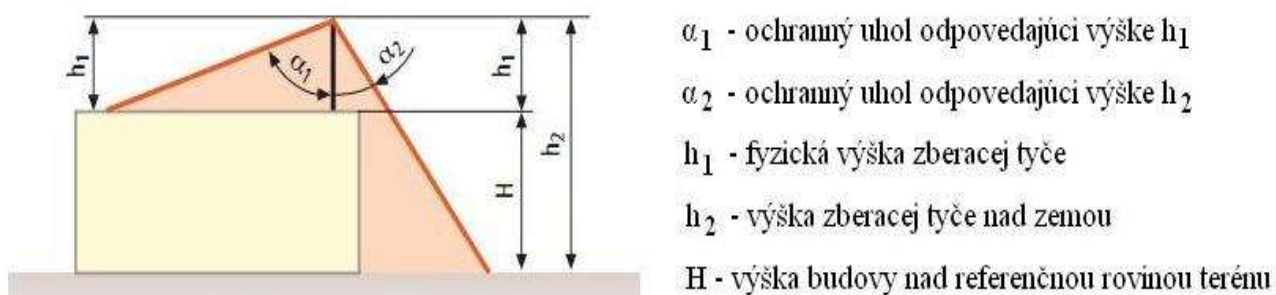
Umiestnenie zachytávacej sústavy je považované za dostatočné, ak sa celý objekt nachádza vo vnútri chránenej plochy tvorenej touto sústavou.

Ochranný priestor zvislej zachytávacej tyče predstavuje pravouhlý kužeľ, ktorého polovičný uhol α závisí na výške a triede LPS.



Obr. 4.3: Ochranný priestor vytvorený zachytávacou tyčou alebo vodičom [1]

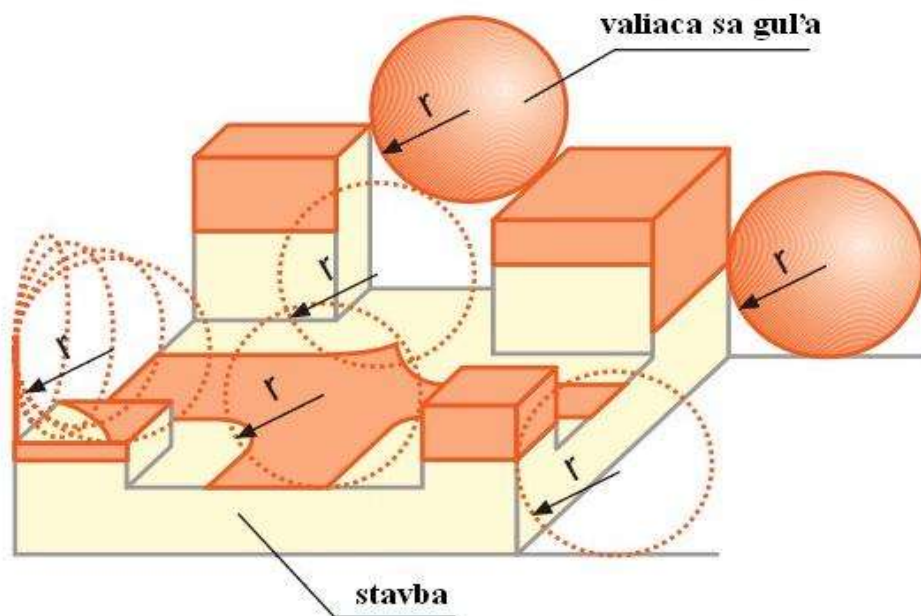
- poznámka: Hodnota ochranného uhla je relatívna, vzhľadom na to, k akej výške roviny sa vzťahuje.



Obr. 4.4: Ochranný uhol v závislosti od posudzovanej roviny [1]

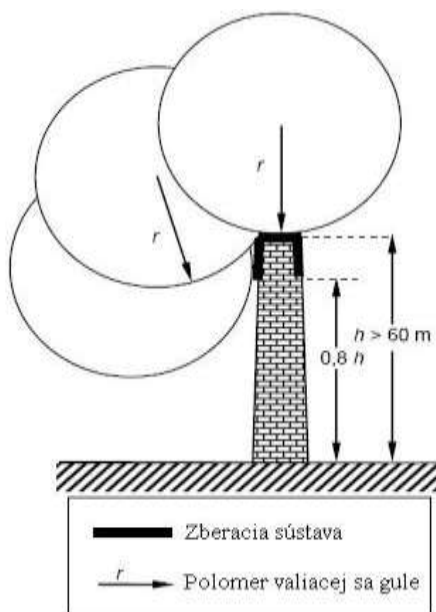
4.1.2.2 Metóda valiacej sa guľe

Metóda predpokladá, že zachytávacia sústava je navrhnutá správne, ak sa guľa o polomere r dotýka iba zachytávacej sústavy. To znamená, že s inou časťou chráneného objektu nepríde do kontaktu. Pri tejto metóde sa guľa o polomere závislom na triede LPS valí okolo stavby a cez jej vrchol všetkými možnými smermi.



Obr. 4.5: Metóda valiacej sa guľe [1]

V prípade vyšších stavieb, každé nechránené miesto, ktorého sa guľa dotýka, je možným bodom úderu blesku. Pri stavbách menších ako 60 metrov je však pravdepodobnosť bočných úderov zanedbateľná. Stavby nad 60 metrov, ako už bolo spomenuté, majú byť chránené od úrovne presahujúcej 80 % svojej celkovej výšky.

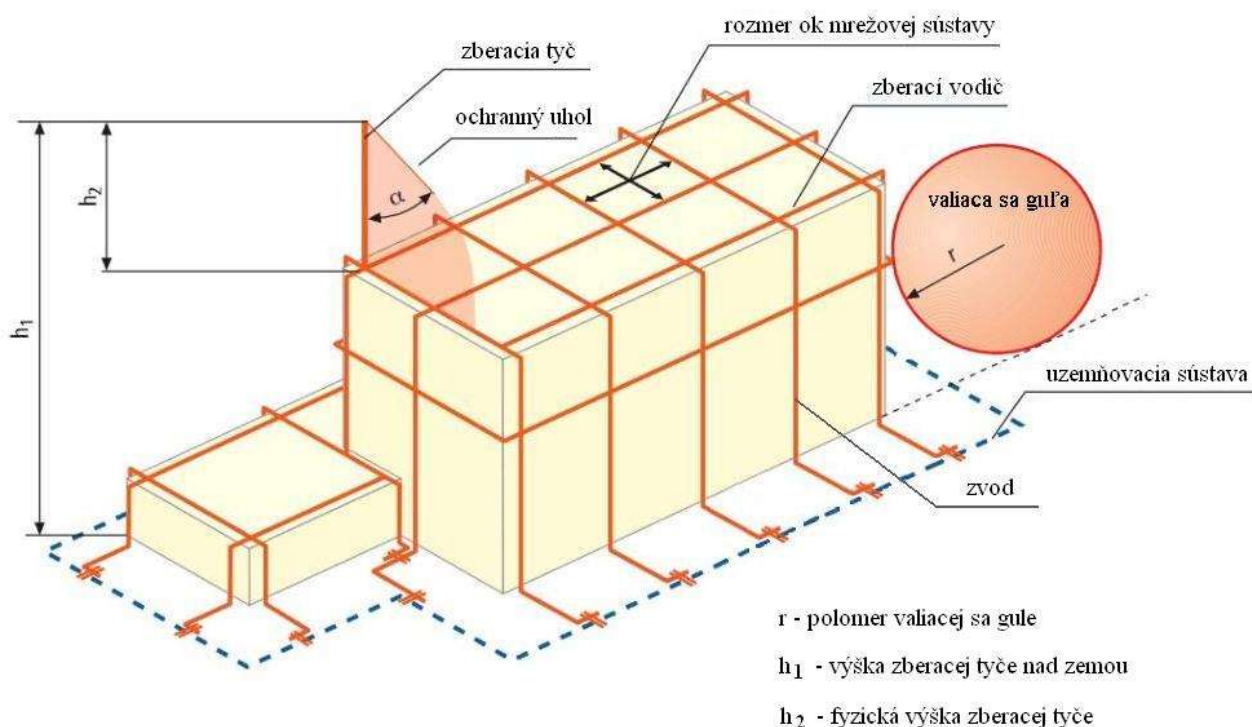


Obr. 4.6: Návrh zachytávacieho zariadenia pri stavbách vyšších ako 60 metrov [4]

4.1.2.3 Metóda mrežovej sústavy

Použitie metódy sa uplatňuje pri rovných plochách bez zakrivenia, alebo pri chránení pred bočnými údermi. Strechy stavieb, na ktorých sú inštalované mrežové sústavy, vytvárajú referenčnú rovinu ochrany, cez ktorú nesmú presahovať prípadné inštalované zariadenia, či časti samotnej stavby. V prípade, že nie sú dodržané podmienky tienenia, je nutné dodatočne použiť sústavu zachytávacích tyčí pre vyčnievajúce telesá. Obe sústavy musia byť navzájom spojené.

Vodiče mrežovej sústavy sa inštalujú na okrajoch striech, na previsoch a v prípade sklonu striech väčšieho ako 1/10, aj na ich hrebeňoch. Rozmery ok závisia na triede LPS. Pre takto navrhnutú sieť musí platiť, že bleskový prúd má minimálne dve kovové dráhy vedúce do zeme.



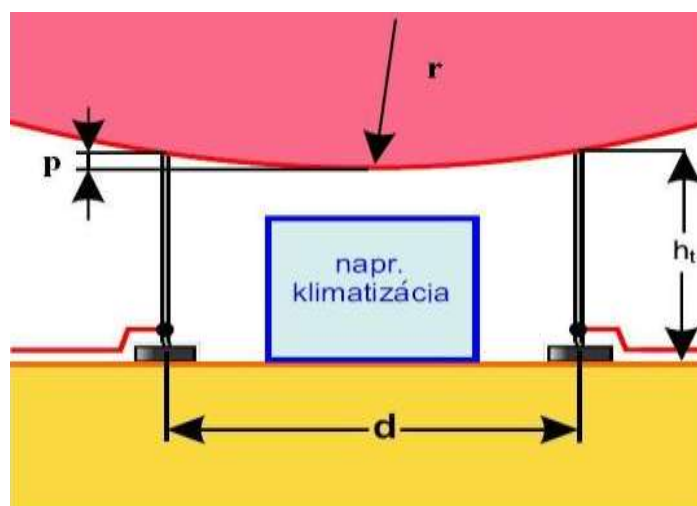
Obr. 4.7: Návrh ochrany pomocou metódy mrežovej sústavy spolu s metódami ochranného uhlu a valiacej sa gule [1]

V prípade mrežovej sústavy (môže byť aj sústava zvislých tyčí), dochádza pri metóde valivej gule k jej prepadu. Prienik gule pod úroveň ochrannej hladiny je možné stanoviť výpočtom. Pri návrhu zachytávacej sústavy je potom potrebné s touto hodnotou kalkulovať. Tým sa zabráni prepadu valiacej sa gule natoľko, aby nastal dotyk s chráneným zariadením. Výpočet prepadu valiacej sa gule:

$$p = r - [r^2 - (d/2)^2]^{1/2} \quad (4.1)$$

kde: r – polomer valiacej sa gule,

d – vzdialenosť medzi dvomi paralelnými zachytávacími drôtmí, alebo zachytávacími tyčami. [4]



Obr. 4.8: Ochranný priestor tvorený vodorovnými zachytávacími sústavami alebo dvomi zberačmi [5]

4.1.3 Sústava zvodov

Zvody sú elektricky vodivé spojenia, slúžiace na prenos bleskového prúdu medzi zachytávacou a uzemňovacou sústavou. Majú za úlohu zvieŕť bleskový prúd čo možno najkratšou dráhou bez ohrozenia majetku či osôb a musia odolať jeho tepelným a mechanickým účinkom.

Platí, že čím je väčší počet zvodov ekvipotenciálne spájaných s vodivými časťami stavby, tým sa znižuje pravdepodobnosť škody spôsobenej bleskovým prúdom.

Vylepšenie parametrov vonkajšej ochrany je možno docieľiť priečnym spojením zvodov na úrovni terénu a každých 10 až 20 metrov, ako aj ich rovnomerným geometrickým rozmiestnením pozdĺž objektu. Hodnoty vzdialenosti medzi zvodmi a obvodovými vodičmi sú závislé na triede LPS. Sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Trieda LPS	Obvyklé vzdialenosti [m]
I	10
II	10
III	15
IV	20

Tab. 4-4: Obvyklé vzdialenosti medzi zvodmi a obvodovými vodičmi stanovené na základe triedy LPS [4]

Takto navrhnutá sústava zvodov znižuje pravdepodobnosť nebezpečného iskrenia a požiadavky na vnútornú ochranu LPS sú tak menšie. Stavby ktoré spĺňajú tieto podmienky, sú napríklad s kovovým skeletom alebo železobetónové (oceľ musí byť elektricky vodivo prepojená).

Umiestnenie zvodov na daný objekt sa odvíja od horľavosti materiálu, z akého je postavený. Existujú izolované či neizolované zvodiče.

Pri izolovanom zvodiči je zachytávacia sústava tvorená zachytávacími tyčami umiestnenými na stožiaroch, prípadne lanom medzi stožiarimi, či sieťou vodičov upevnených na oporných konštrukciách. Pre každý stožiar alebo oporný bod (ak nie je z kovu alebo vzájomne prepojeného armovania) je potrebný minimálne jeden zvod.

Ak ide o neizolovaný LPS, je nutnosť použiť minimálne dva zvody. V prípade, že podmienky umožňujú umiestnenie zvodov na nechránené rohy stavby, je dobré tak urobiť. Nie je dovolené umiestnenie zvodov do odtokových ríms. Taktiež by sa malo predchádzať vytváraniu inštalčných slučiek.

Zvody neizolovaného LPS, sa môžu inštalovať s ohľadom na horľavosť materiálu nasledovne:

- priamo na povrch alebo do stien ak sú použité nehorľavé materiály,
- pri použití ľahko horľavých materiálov je možné inštalovať zvody na steny len ak prechádzajúci prúd nespôsobí oteplenie zvodu na kritickú hodnotu pre použitý materiál,
- ak je použitý ľahko horľavý materiál a prechodom bleskového prúdu, vzniká nebezpečenstvo škody, musí byť pomocou uchytení dodržaná minimálne 10 cm vzdialenosť od steny. Ak to podmienky neumožňujú, musí byť prierez zvodu minimálne 100 mm².

4.1.4 Skúšobná svorka

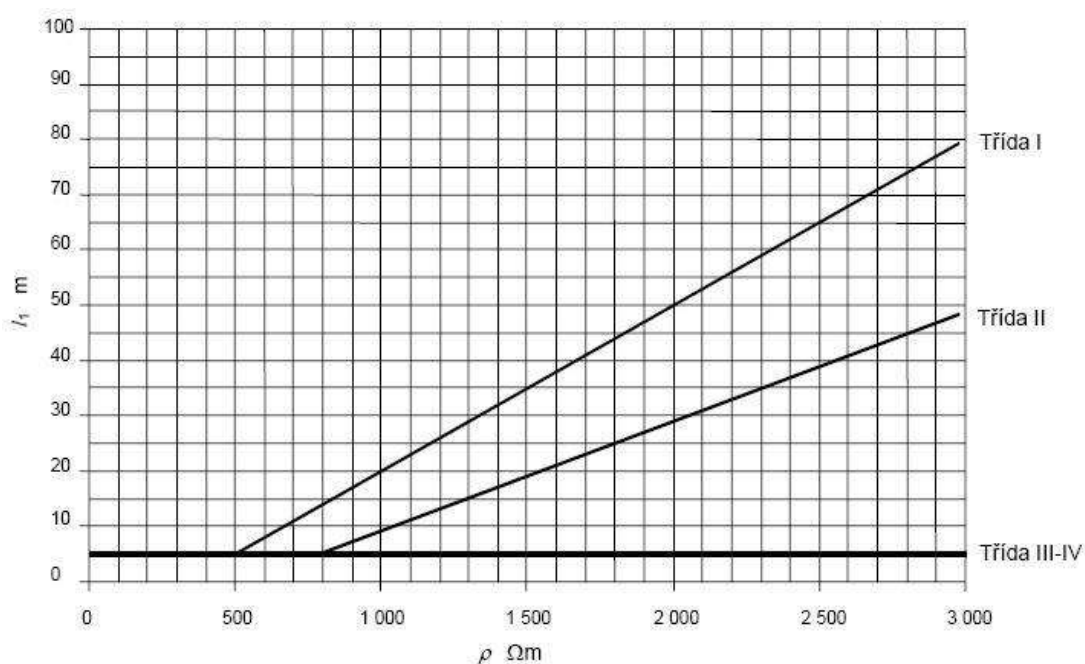
Skúšobná svorka slúži pri revízii (meraní) celkového odporu samotného uzemnenia. Mala by byť súčasťou každého zvodu, okrem náhodných a inštalovať sa v mieste spojenia s uzemňovacou sústavou. Vzhľadom k bezpečnosti musí byť svorka rozpojiteľná iba za pomoci náradia.

4.1.5 Uzemnenie

Uzemnenie je konečná časť vonkajšieho LPS, zložená z kovových telies rôzneho tvaru a usporiadania tak, aby bolo zabezpečené vodivé spojenie so zemou. Uzemnenie sa inštaluje pod úroveň povrchu zeme. Hĺbka uloženia a voľba typu uzemnenia sa odvíja od snahy dosiahnuť dobrú vodivosť, minimalizovať vplyv korózie, vlhkosti, zamrznutia pôdy a pokiaľ možno doceliť konštantnú úroveň odporu nezávislú na poveternostných podmienkach po čo najdlhšiu dobu. Zamrznutá zemina výrazne znižuje elektrickú vodivosť. Odpor navrhutej uzemňovacej sústavy by mal byť čo najmenší a ak je to možné do 10 Ω. Výnimkou je skalnaté podložie.

Uzemnenie by malo byť spojené so systémom potenciálneho vyrovnania a umiestené tak, aby bolo vzdialené od vstupov do budovy a kovových predmetov v zemi. Inak hrozí vysoké nebezpečenstvo krokového napätia.

Dôležitá hodnota uzemnenia je jeho celková dĺžka. Závisí na triede LPS.



Obr. 4.9: Minimálna dĺžka uzemnenia l_1 , závislá na triede LPS [4]

kde: l_1 – minimálna dĺžka vodorovného uzemnenia (pre zvislé platí hodnota $0,5 l_1$),
 ρ – rezistivita pôdy.

Minimálnu dĺžku nie je nutné dodržať, ak celkový odpor uzemňovacej sústavy je do 10Ω . Pri kombinovanom uzemnení sa zohľadňuje celková dĺžka sústavy.

V praxi sú najčastejšie používané dva typy strojených uzemnení:

- usporiadanie typu A - vodorovné alebo zvislé,
- usporiadanie typu B - obvodové alebo základové.

4.1.5.1 Uzemnenie typu A

Uzemňovacia sústava typu A sa používa s obľubou pri nízkych stavbách (napr. rodinné domy), už existujúcich stavbách alebo LPS tvorenými zachytávacími tyčami, lanami, či izolovaných LPS.

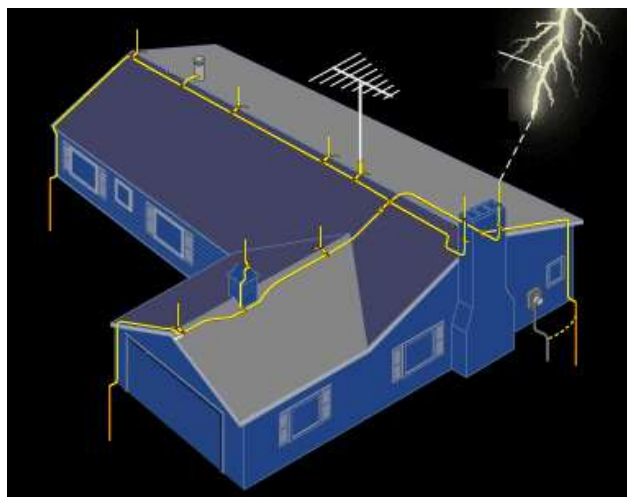
Uzemnenie sa prevádza pomocou vodorovných alebo zvislých – tyčových vodičov (môžu byť aj šikmé) v okolí chráneného objektu. Musí platiť, že sústava LPS má minimálne dva uzemňovače.

Hĺbka uloženia je $0,5$ až 1 m, vo vzdialenosti 1 m od zvodu. Pri tyčovom uzemnení v oblastiach so zamrzajúcou pôdou sa pripočítava $0,5$ m k celkovej dĺžke. Dôvodom je, že horná časť tyčového uzemnenia rovná zamrzutej hĺbke, sa považuje za neúčinnú.

Rozmiestnenie uzemnenia by malo byť čo najrovnomernejšie. Tým sa znižujú účinky elektrickej väzby.

Pre dosiahnutie lepších parametrov je možnosť kombinácie vodorovného a zvislého uzemnenia. Vodorovným uzemnením je v takom prípade prepojenie tyčového uzemnenia po obvode.

Zvislé uzemnenie v porovnaní s vodorovným je ekonomicky výhodnejšie a má stabilnejší zemný odpor počas celého roka.



Obr. 4.10: Uzemnenie typu A – zvislé (tyčové) [8]

4.1.5.2 Uzemnenie typu B

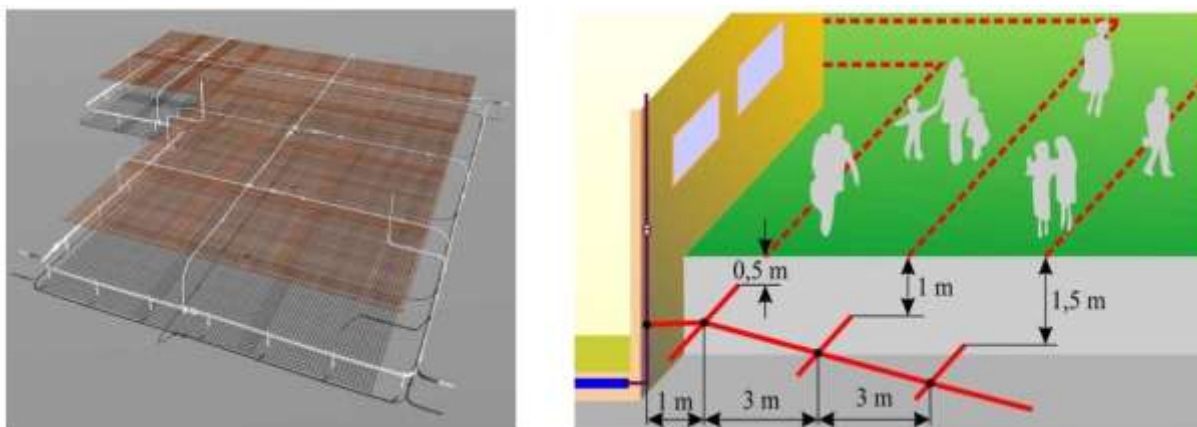
Uzemňovacia sústava typu B je používaná hlavne pri LPS so zachytávaciou mrežovou sústavou, v prípadoch kde stavba vyžaduje veľa zvodov alebo obsahuje množstvo elektronických prístrojov, pri skalnatom podloží, či ak hrozí vysoké nebezpečenstvo vzniku požiaru.

Prevedenie môže byť z obvodového uzemnenia s minimálnou hĺbkou uloženia 0,5 m a 1 m od obvodových stien a z 80 % celkovej dĺžky uloženej v zemi alebo základového uzemňovača. Prípadne ich kombináciou. Ak nie sú splnené požiadavky na celkovú dĺžku alebo odpor sústavy, doplní sa uzemňovacími tyčami alebo pásmi.

Základový uzemňovač je tvorený zo vzájomne spojeného oceľového armovania v betóne. Ten ak stavba obsahuje, by mal byť prednostne použitý ako uzemnenie, kvôli jeho nízkej hodnote zemného odporu a funkcii ekvipotenciálneho vyrovnania. Spoje oceľového armovania sa musia previesť kvalitne, aby nedochádzalo k praskaniu betónu. Obvodový uzemňovač je dobré pred zaliatím betónom prepojiť oceľovým armovaním.

Uzemnenie typu B je výhodnejšie oproti typu A a to z dôvodu, že okrem zvedenia bleskového prúdu do zeme zaručuje ekvipotenciálne pospájanie medzi zvodmi a umožňuje riadenie potenciálu v blízkosti vodivých stien budovy.

Ak sa jedná o stavby s okolím, kde je predpokladaný väčší výskyt osôb, malo by byť riadenie potenciálu uskutočnené pomocou viacerých obvodových uzemnení. Inštalovať by sa mali hlbšie s nárastom vzdialenosti od stavby a vzájomne prepojiť s prvým obvodovým uzemnením. Nebezpečenstvo krokového napätia môže byť eliminované aj použitím dobre vodivého asfaltu o hrúbke 50 mm.



Obr. 4.11: a) Uzemnenie typu B, b) Riadenie potenciálu obvodovým uzemnením [9]

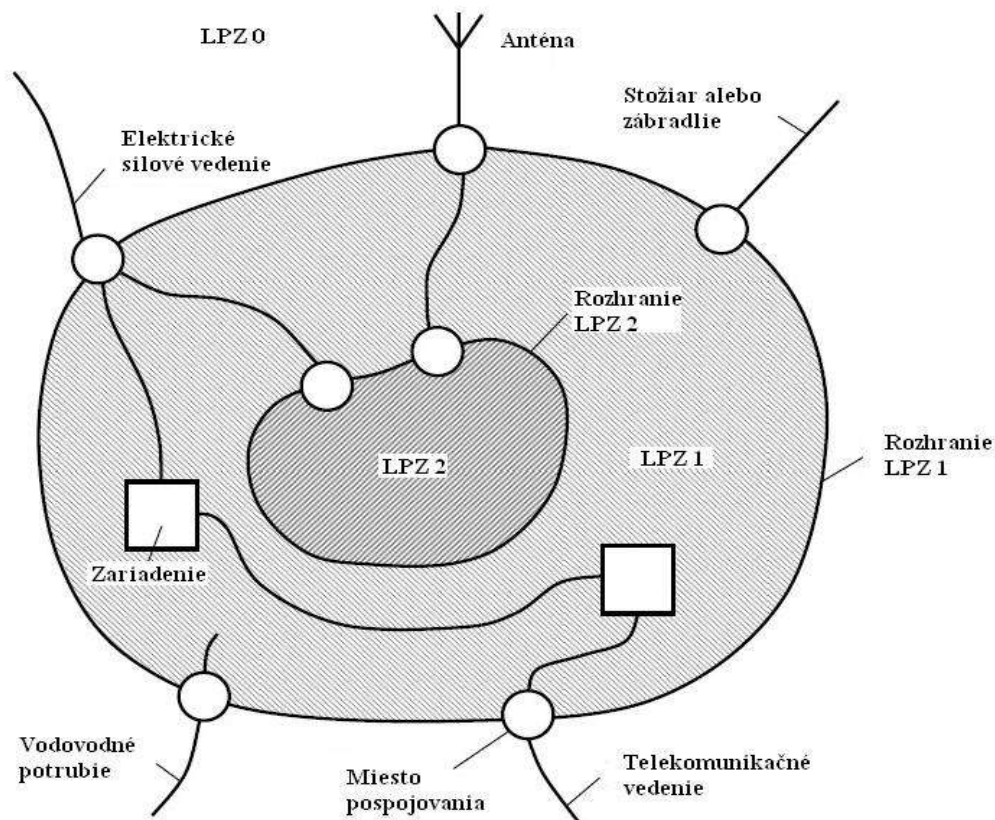
4.2 VNÚTORNÝ SYSTÉM OCHRANY PRED BLESKOM

Vnútorne systémy sú projektované tak, aby zabránili vniknutiu nebezpečných hodnôt bleskového prúdu a elektromagnetického poľa a nedochádzalo tak k poškodeniu elektrických či elektronických systémov, prípadne k ohrozeniu na živote. Trvalé poškodenie systémov môže byť spôsobené:

- privedenými alebo indukovanými rázovými vlnami prenesenými do prístroja prívodným vedením,
- účinkami vyžarovaných elektromagnetických polí ovplyvňujúcich priamo prístroj. [10]

Návrh ochranných opatrení proti elektromagnetickému impulzu vyvolanému bleskom (LEMPS) sa odvíja od ocenenia rizika a aby systém ochrany bol technicky a ekonomicky výhodný. Použitie ochranných opatrení súvisí s členením zón LPZ chráneného objektu - rozhoduje o ich rozhraní. Potreba väčšieho členenia ochranných zón zodpovedá výskytu citlivých zariadení.

Nasledujúci obrázok uvádza príklad rozdelenia ochranných zón stavby, spolu s pripojením vstupných inžinierskych sietí.



Obr. 4.12: Príklad rozdelenia ochranných zón stavby [10]

Všetky inžinierske siete musia byť na vstupe (rozhranie LPZ 1) navzájom pospájané. Sú spojené cez hlavnú ekvipotenciálnu svorkovnicu. Metalické inžinierske siete vstupujúce do ďalšej z vnútorných zón, musia byť na jej rozhraní opäť spojené prostredníctvom svorkovnice. Siete sú napojené priamo alebo cez prepäťové ochranné zariadenie (SPD). Týmto spôsobom dochádza k rozdeleniu, teda k obmedzeniu impulzného prúdu na rozhraniach. Priestorovým tienením je možné obmedziť aj veľkosť elektromagnetického poľa blesku.

Ak podmienky umožňujú, vstup inžinierskych sietí do LPZ by mal byť projektovaný v rovnakom mieste a mali by byť pripojené na spoločnú svorkovnicu pospájania. V prípade, že to podmienky nedovoľujú, každá z inžinierskych sietí musí byť pripojená na svorkovnicu pospájania. Tie musia byť vzájomne prepojené. Svorkovnice by mali byť inštalované čo najbližšie k miestu vstupu do LPZ.

4.2.1 Použitie a význam základných ochranných opatrení v LEMPS

Základné ochranné opatrenia sú:

- Uzemnenie a pospájanie,
- Magnetické tienenie a trasy vedení,
- Koordinovaná SPD ochrana.

4.2.1.1 Uzemnenie a pospájanie

Realizácia vhodného uzemnenia a pospájania predstavuje komplexný systém uzemnenia, ktorý spojuje uzemňovaciu sústavu so sústavou pospájania.

Uzemňovacia sústava, ako už bolo spomenuté, zabezpečuje zvod a rozptýlenie bleskového prúdu v zemi.

Cieľom sústavy pospájania je dosiahnutie nízkej hodnoty impedancie, ktorá minimalizuje rozdiely potenciálov medzi zariadeniami nachádzajúcimi sa vo vnútorných LPZ zónach. Jej výhodou je taktiež zníženie magnetického poľa. Sústava môže mať usporiadanie trojrozmernej mrežovej konštrukcie so šírkou ok napríklad 5m. To si vyžaduje množstvo prepojení medzi vonkajšími a vnútornými kovovými konštrukciami stavby. Súčasťou sústavy sú svorkovnice pospájania.

Svorkovnice pospájania slúžia na pripojenie:

- všetkých vodivých inžinierskych sietí vstupujúcich do LPZ (priamo alebo použitím vhodných SPD),
- ochranného uzemňovacieho vodiča PE,
- kovových súčastí vnútorných systémov (napríklad skrine, kryty, rozvádzače),
- magnetického tienenia LPZ na obvode a vo vnútri stavby.

Pre návrh účinného pospájania je dôležitý súbor inšalačných pravidiel, ako napríklad:

- základom všetkých opatrení pospájania je dosiahnutie nízkej impedancie sústavy pospájania,
- svorkovnice pospájania by mali byť pripojené k uzemňovacej sústave pokiaľ možno najkratšou cestou (vodiče pospájania by mali byť dĺžky do 0,5 m),
- materiál a dimenzovanie vodičov pospájania, svorkovnica pospájania musí spĺňať podmienky IEC 62305-3,
- SPD by mali byť pripojené pokiaľ možno najkratším spôsobom k svorkovnici pospájania, rovnako aj k živým vodičom za účelom minimalizácie indukčných úbytkov napätí,
- na chránenej strane obvodu (za SPD), by mali byť znížené vzájomné induktívne účinky prostredníctvom minimalizovania priestorových okruhov, prípadne použitím tienených káblov, či káblových kanálov. [10]

4.2.1.2 Magnetické tienenie a trasy vedení

Tento typ ochranných opatrení je možné členiť nasledovne:

1. Priestorové tienenie

Použitie vonkajšieho LPS zabezpečuje ochranu vnútornej zóny LPZ 1 pred priamym úderom blesku. Avšak z pohľadu tienenia predstavuje vonkajší LPS zanedbateľný efekt pri šírke ok mrežovej sústavy a vzdialenosťami medzi zvodmi väčšími ako 5 m. Z tohto dôvodu je možné zlepšiť vonkajší LPS použitím priestorového tienenia. To má za úlohu zoslabiť

magnetické pole vo vnútri LPZ, ktoré je spôsobené priamym úderom do objektu alebo úderom v jeho blízkosti. Výhodou je, že znižuje aj veľkosť vnútorných rázových vln.

Ako priestorové tienenie je možné koncipovať mrežové či súvislé tienenie, alebo tienenie pomocou náhodných súčastí stavby. Voľba sa odvíja od toho, či je potrebné tieniť celú stavbu, jej časť, prípadne iba miestnosť alebo konkrétne zariadenie. Šírka ok mrežového tienenia a vzdialenosti zvodov by pritom mali byť do 5 m.

2. Tienenie vnútorných vedení

Vnútorné tienenie má za účinnok minimalizáciu vnútornej indukovanej rázovej vlny. Používa sa kovové tienenie káblov, kovové káblové kanále alebo kovové kryty zariadení. Pri použití kovových káblových kanálov, by tie mali byť súčasťou systému pospájania a vývod k danému zariadeniu z nich, by mal byť uskutočnený z jedného miesta.

3. Tienenie vonkajších vedení

Majú za úlohu znížiť rázové vlny vstupujúce do vnútorných systémov. Napriek užitočným výsledkom tienenia, nemá projektant LPMS zväčša kompetenciu rozhodovať o ich prevedení. Vlastníkom vonkajších sietí je často ich prevádzkovateľ.

Prevedenie tienenia vonkajších vedení vstupujúcich do stavby môže byť tienením káblov, použitím uzatvorených káblových kanálov alebo betónových káblových kanálov, so vzájomne pospájaným armovaním.

4. Vedenie trás vnútorných vedení

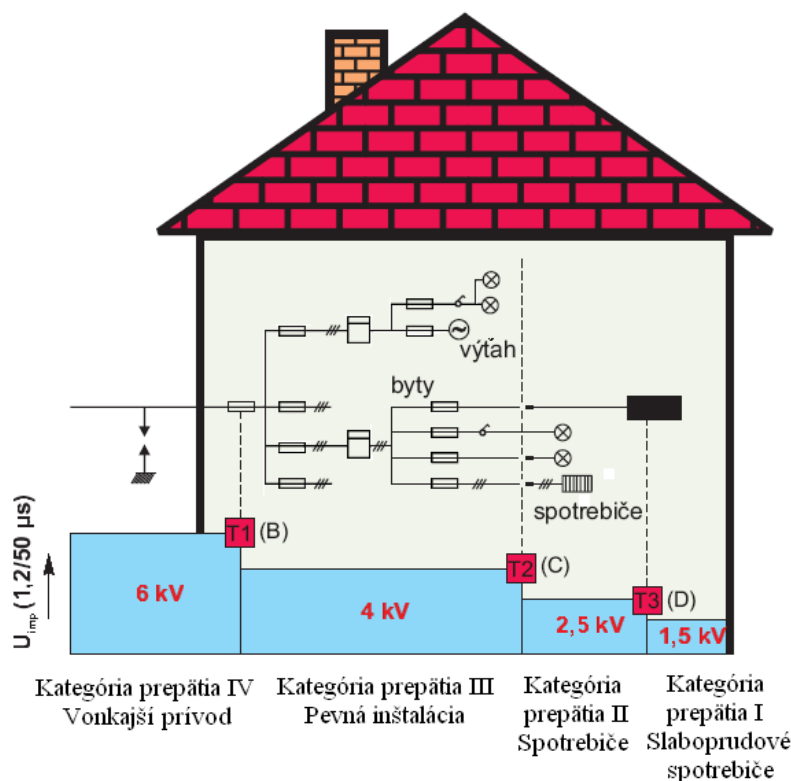
Vhodným návrhom trás vnútorných vedení sa dá docieľiť minimalizácia indukčných okruhov a obmedzenie tvorby napäťových rázových vln. Plocha okruhu sa môže zmenšiť vedením inštalácie popri náhodných uzemnených súčastiach stavby, prípadne spoločným vedením trasy elektrických a signálnych vedení. Ak sa v spoločnej trase nachádza vedenie netienené, je potrebné dodržať určitú vzdialenosť, pre zabránenie vzniku interferencie. Pri projektovaní vnútornej inštalácie by sa mala rešpektovať dostatočná vzdialenosť od systému tienenia LPZ, obzvlášť LPZ 1. Inak hrozí nebezpečenstvo veľkých elektromagnetických polí od rozdelených prúdov blesku.

4.2.1.3 Koordinovaná SPD ochrana

Použitím prepäťových ochrán v rámci objektu sa zaistí, že objekt bude chránený voči vonkajším aj vnútorným rázovým vlnám. SPD sa inštalujú na rozhraniach jednotlivých zón LPZ a ich počet sa odvíja od dosiahnutia potrebnej ochrannej hladiny daných zariadení stavby, tak aby nedochádzalo k prekročeniu ich výdržných hodnôt. Návrh ochrany objektu pomocou SPD predstavuje použitie viacerých aj principiálne odlišných prvkov. Tie sú radené v kaskáde a medzi nimi musí byť dosiahnutá vzájomná koordinácia, aby sa docielilo spoľahlivého systému chránenia. Koordinácie sa dosiahne, ak je každé SPD vystavené energiou menšej alebo rovnou, ako je ich vlastná výdržná energia. Tú je možné zistiť z elektrických skúšok podľa IEC 61643-1, alebo z technických informácií dodaných výrobcom. Pre účinnú koordináciu je potrebná štúdia charakteristík jednotlivých SPD, miery ich ohrozenia v mieste inštalácie a charakteristík chránených zariadení.

Elektrická inštalácia sa podľa normy delí do štyroch kategórií prepätia. Každá z nich je určená maximálna impulzná hodnota prepätia, čím sa definuje ich číselné vyjadrenie stupňa odolnosti voči prepätiu. Kategórie delíme na:

- I.** – Predstavuje zariadenia citlivé na elektromagnetický impulz (hlavne slaboprúdové spotrebiče). Hodnota prepätia nemá byť väčšia ako 1,5 kV.
- II.** – Zariadenia (spotrebiče) nachádzajúce sa za podružným rozvádzačom, ktoré majú byť pripojiteľné k pevnej inštalácii. Ich hodnota prepätia nemá byť väčšia ako 2,5 kV.
- III.** – Zariadenia nachádzajúce sa za hlavným rozvádzačom. Ide o zariadenia pevnej inštalácie. Prepätie nemá prekročiť hodnotu 4 kV.
- IV.** – Ide o zariadenia siete nn $3 \times 400/230$ V, nachádzajúce sa na vstupe do budovy (pred hlavným rozvádzačom). Hodnota prepätí má byť pod hodnotou 6 kV.



Obr. 4.13: Rozdelenie kategórií maximálnych impulzných prepätí siete nn $3 \times 400/230$ V [11]

SPD rozdeľujeme do troch rôznych typov:

- SPD 1,
- SPD 2,
- SPD 3.

Miesto ich inštalácie súvisí s hladinami ochranných zón LPZ. Pre účely koordinácie sú vystavované impulzným skúškam napodobňujúcim reálne rázové vlny. Tie sú generované s parametrami:

1. Skúškový prúd s tvarom vlny 10/350 μ s ($I_{10/350}$)

- predstavuje tvar vlny, ktorý sa najviac podobá prvému krátkemu bleskovému výboju.

2. Skúškový prúd s tvarom vlny 8/20 μ s ($I_{8/20}$)

- predstavuje tvar vlny, ktorý sa najviac podobá prepätiu vzniknutému elektromagnetickou indukciou alebo spínacími javmi.

3. Výstupný prúd z generátora kombinovanej vlny (I_{CWG})

- predstavuje kombinovanú vlnu, ktorej tvar závisí na zaťažení (napätie naprázdno 1,2/50 μ s a prúd nakrátko 8/20 μ s).

4. Skúškový prúd so strmost'ou prúdu 0,1 kA/ μ s (I_{RAMP})

- využíva sa na napodobenie rozdelených prúdov blesku, ktoré predstavujú minimálnu strmost' v dôsledku vzájomného pôsobenia bleskového prúdu a inštalácie nn napätia.

4.2.1.3.1 SPD typu 1

Jedná sa o zvodiče bleskových prúdov, ktoré sú stavané na hodnoty priamych úderov. Ich cieľom je zvieŕ podstatnú energiu blesku do zeme a dosiahnuť tak značné odľahčenia inštalácií, nachádzajúcich sa za nimi. Prepätie má byť obmedzené pod hodnotu menšiu ako 4 kV. Inštalujú sa medzi rozhraním LPZ 0 a LPZ 1. Prevažne sa jedná o zapuzdrené iskrištia. Moderné systémy pracujú na princípe riadeného zapuzdreného iskrišťa.

Iskrište predstavuje dve oddialené elektródy (kovové alebo uhlíkové), ktorých vzdialenosť ovplyvňuje hodnotu zapalovacieho napätia. Ich funkcia spočíva v tom, že sú zapojené medzi živé vodiče a vodič PEN. V kludovom stave sa vyznačujú veľkým odporom. Avšak v prípade objavenia prepätia vysokých hodnôt na iskrišti (odpovedajúcich bleskovému výboju), nastane porucha izolačnej pevnosti a dochádza tak k zapáleniu el. oblúku - skratu. Rázový prúd sa zvedie do zeme, prebehne vyrovnanie potenciálu. Po odznení prechodového javu je medzi iskrišťami opäť obnovená izolačná pevnosť.

Ich výhodou je, že dokážu preniesť veľkú energiu, majú veľký odpor v kludovom stave, prakticky nulový unikajúci prúd, skracujú dobu trvania vlny a vykazujú po dlhú dobu životnosti stále technické parametre. Nevýhodou je ich dlhá doba odozvy, až 100 ns.

Ochrany tohto typu sa vystavujú technickým skúškam odolnosti prúdovou vlnou s tvarom 10/350 μ s.

4.2.1.3.2 SPD typu 2

Ide o zvodiče prepätia, ktoré sú schopné zvieŕ prepätia vzdialených úderov alebo spínacie. Inštalujú sa na rozhraní LPZ 1 a LPZ 2. Ako ochrany sa používajú varistory. Pomocou nich majú byť obmedzené prepätia pod hodnotu 2,5 kV.

Varistor je polovodič s napäťovo závislým odporom (výroba z karbidu kremičitého SiC alebo oxidu zinočnatého ZnO s pridaním rôznych kovov). Jeho hodnota odporu závisí na veľkosti priloženého napätia. Pri menovitom napätí je varistorom vykazovaný odpor takmer nekonečných hodnôt. V prípade, že sa k jeho svorkám privedie vyššie napätie ako to, na ktoré

je vyrobený, odpor rýchlo a plynule klesne takmer na nulu. Nastane krátkodobý skrat a rázová vlna je zvedená do zeme. Po odznení prechodového javu je obnovená jeho menovitá hodnota napätia.

Varistorom preteká v kludovom stave veľmi malý prúd. V prípade, ak by ním tiekol prúd priameho bleskového výboja, vynásobenie tejto hodnoty s hodnotou zbytkového odporu by predstavovalo príliš veľkú energiu. Tá by mala za následok poškodenie ochrany. Z tohoto dôvodu nie sú varistorové ochrany vhodné ako zvodniče priamych bleskových prúdov. Ich veľkou výhodou je ale rýchla odozva, až 25 ns. Použitie nachádzajú pri ochrane spotrebičov voči špičkám energií menších hodnôt.

Ochrany tohto typu sa vystavujú technickým skúškam odolnosti prúdovou vlnou s tvarom 8/20 μ s.

4.2.1.3.3 SPD typu 3

Tento typ predstavuje tzv. jemnú ochranu. Používajú sa ako konečná ochrana citlivých spotrebičov (napr. počítače, televízory), pred elektromagnetickými väzbami vzdialenejších úderov blesku, či spínacích prepätí. Inštalujú sa priamo k spotrebičom, na rozhraní zón LPZ 2 a LPZ 3. Ochránám sa ľudovo hovorí aj „zásuvkové“. Dôvodom je ich inštalácia priamo do zásuviek, prípadne sú v prevedení zásuvkového adaptéra.

Ich funkcia je založená na princípe supresorovej diódy alebo varistora. Spomedzi SPD majú najnižšiu dovoľenú hodnotu zaťaženia rázovým prúdom. Prepätie za nimi má byť obmedzené pod hodnotu 1,5 kV.

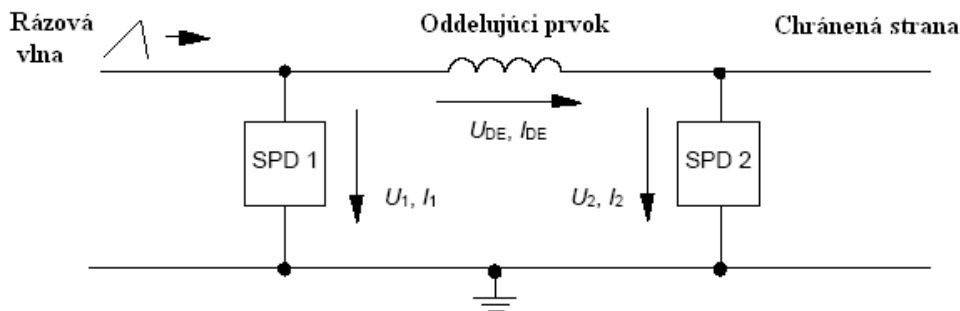
Ochrany tohto typu sa vystavujú technickým skúškam odolnosti prúdovou vlnou s tvarom 1,2/50 μ s a 8/20 μ s.



Obr. 4.14: Názorná ukážka jednotlivých typov SPD, zoradených v kaskáde, smerom k chránenému zariadeniu [12]

4.2.1.3.4 Koordinácia prepät'ových ochrán

Aby bola zaručená koordinácia jednotlivých typov SPD, je potrebné dodržať určité bezpečné vzdialenosti, prípadne umiestniť oddel'ovací prvok medzi nimi. Vzdialenosti a použitie oddel'ovacieho prvku závisí od toho, medzi akými typmi SPD je koordinácia zabezpečovaná. Základný model koordinácie energií medzi prvým a druhým stupňom SPD je znázornený na nasledovnom obrázku.

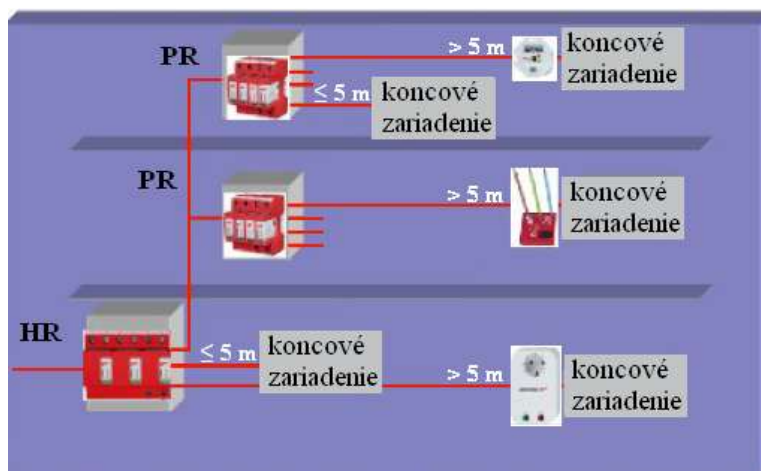


Obr. 4.15: Základný model koordinácie energií medzi SPD 1 a SPD 2 [10]

Oddelovací prvok (tlmivka) sa umiestňuje medzi zvodíčom bleskového prúdu a zvodíčom prepätia. Jeho význam spočíva v obmedzení maximálnych hodnôt impulzných prúdov a v časovom oneskorení ich nárastu pred zvodíčmi prepätia. Omnoho rýchlejšie zvodíče prepätia tak zareagujú oneskorene a predíde sa tomu, aby na seba prevzali príliš veľkú energiu impulzného prúdu. Ak by nezareagovala ako prvá SPD 1, následné zvodíče prepätia, vnútorná inštalácia a konečné zariadenia, by boli touto rázovou vlnou poškodené. Oddelovacia tlmivka nie je požadovaná, ak koordinácia energií je splnená použitím SPD s vhodnými opatreniami. V súčasnosti sú najviac preferované kombinované zvodíče, obsahujúce dva zvodíče v jednom prevedení.

Koordinácia vzdialenosti medzi jednotlivými SPD:

- medzi typmi 1 - 2
- minimálna vzdialenosť medzi zvodíčmi je 2 m.
- medzi typmi 1 - 3, 2 - 3
- minimálna vzdialenosť medzi zvodíčmi je 5 m.
- medzi typmi 3 - 3
- minimálna vzdialenosť medzi zvodíčmi je 10 m.



Obr. 4.16: Minimálne vzdialenosti koordinácie medzi jednotlivými typmi zvodíčov [12]

Z obrázka plynie, že použitie zvodíča typu 2 alebo typu 3 v smere priamej línie za zvodíčom typu 1, nie je bezprostredne nutné. Moderné kombinované SPD 1 totiž dosahujú vysokých ochranných parametrov a sú schopné zabezpečiť ochrannú úroveň $U_p \leq 1,5 \text{ kV}$. Dosahujú tak koordináciu priamo s koncovým zariadením. V prípade, že vzdialenosť je väčšia ako 5 m, za SPD 1 sa použije SPD 3. Zvodíč SPD 2 je použitý, ak sa v budove okrem hlavného rozvádzača (HR) nachádzajú aj podružné poschodové rozvádzače (PR). Zvodíče sa inštalujú v týchto rozvádzačoch.

4.2.1.3.5 Istenie prepäťových ochrán

Prepäťové ochrany prvého a druhého stupňa je potrebné istiť prídavným zariadením. Inak hrozí ich poškodenie vysokou energiou bleskového prúdu (väčšia ako ich výdržná energia). K tomuto účelu sa používajú výhradne poistky gL/gG a nie ističe. Dôvodom je ich lepšia schopnosť obmedziť skratovú energiu, pri rovnakých hodnotách.

Súčasťou samotných prepäťových ochrán (zvodíčov) je síce odpojovacie zariadenie, ktoré v prípade preťaženia ochrany veľkou hodnotou bleskového prúdu zabezpečí jej odpojenie od obvodu. Avšak po zvedení skratového prúdu dochádza k následným skratovým prúdom, „živeným“ zo siete nn (ich hodnota je závislá od impedancie obvodu). V takomto prípade odpojovacie zariadenie prepäťovej ochrany nemusí byť účinné a môže dôjsť k jej poškodeniu. Z tohto dôvodu je potrebné predistenie prepäťovej ochrany poistkou.

Výrobcovia prepäťových ochrán majú za povinnosť uvádzať hodnotu poistky, ktorou je možné zabezpečiť predistenie. Jedná sa o maximálnu hodnotu, nižšiu v porovnaní s výdržnou hodnotou prepäťovej ochrany. Prekročením tejto hodnoty nie je dosiahnutý bezpečný stav ochrany. Z tohto ohľadu je možné voliť poistky s hodnotou ľubovoľne menšou ako maximálna. Je však potrebné si uvedomiť, že úmerne so znižovaním menovitej hodnoty poistky je znižovaná aj hodnota energie, akú je schopná prepustiť. Môže sa stať, že poistka odpojí prepäťovú ochranu príliš skoro a tá nestihne zviest' dostatočnú energiu bleskového prúdu. Zostávajúca energia sa ďalej šíri do inštalácie, čím môže poškodiť prístroje.

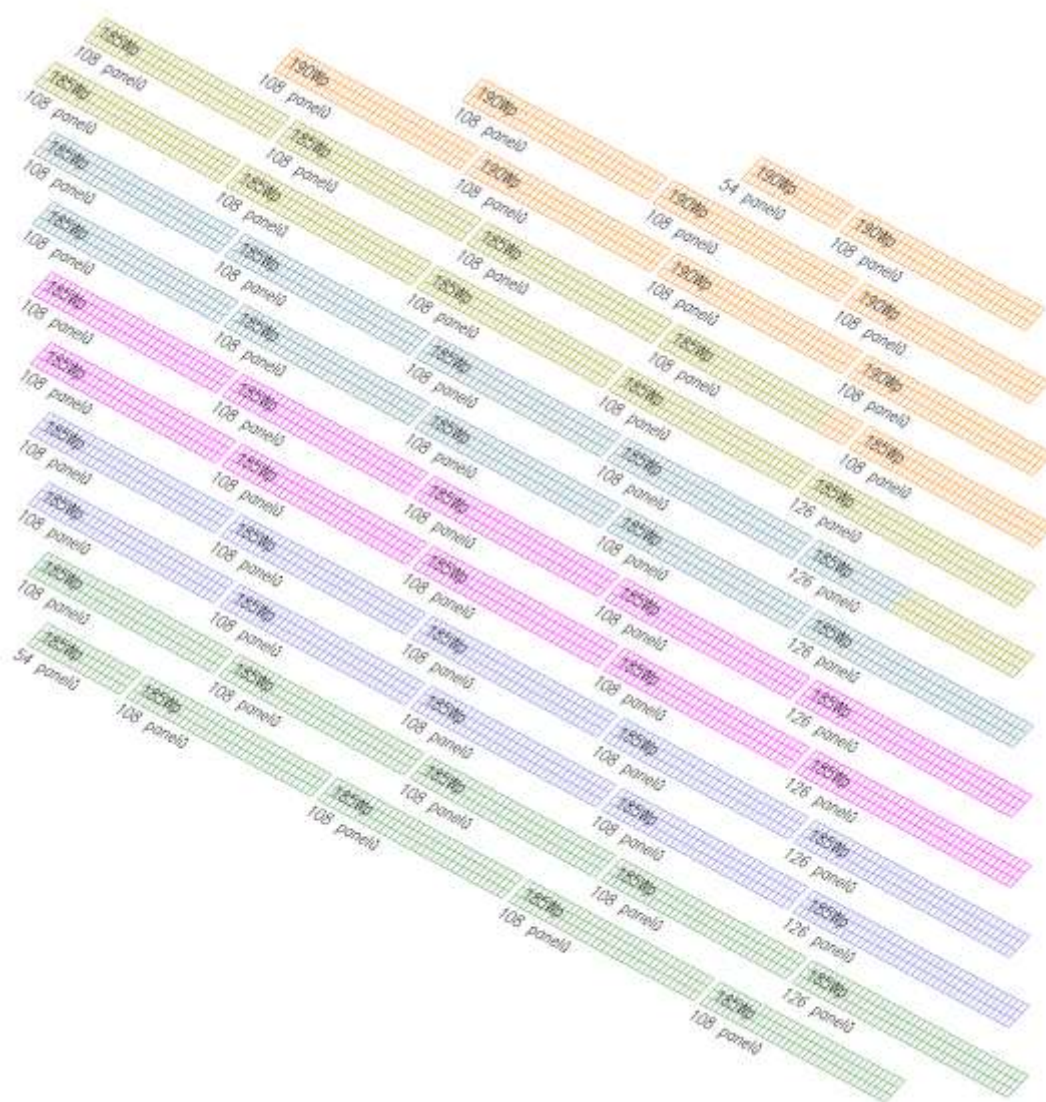
Dôležité pri predistení je, aby po vybavení poistky nebola prerušená dodávka elektrickej energie do objektu. Zachovanie kontinuity napájania sa dosiahne doplnením poistiek do paralelnej vetvy k prepäťovej ochrane. Pre správnu funkciu musí byť zabezpečená selektívnosť s hlavnými poistkami. Selektívnosť vyžaduje, aby poistky v paralelnej vetve boli menších hodnôt, s doporučeným pomerom 1,6 : 1.

5 PREDSTAVENIE FVE, PRE KTORÚ JE NAVRHOVANÁ OCHRANA PROTI BLESKU

Ochrana proti blesku je navrhovaná pre FVE, nachádzajúcu sa v oblasti ležiacej pod Orlickými vrchmi. Výkon elektrárne činí 1,19 MW a rozprestiera sa na pozemku o rozlohe približne 2,6 ha. FVE pozostáva z monokryštalických fotovoltaických panelov o dvoch rôznych menovitých výkonov:

- 918 kusov s výkonom 190 Wp,
- 5490 kusov s výkonom 185 Wp.

Panely sú natočené smerom na juh so sklonom 35°. FVE je zaradená do triedy LPS III. Nasledujúci obrázok zobrazuje skladbu a rozloženie elektrárne.



Obr. 5.1: Predstavenie FVE o výkone 1,19 MW, pre ktorú je navrhovaná ochrana proti blesku

6 ANALÝZA RIZÍK FVE

Analýza rizík zohráva kľúčovú časť pri návrhu ochranných opatrení. Pomocou nej je možné určiť, či je objekt dostatočne chránený alebo naopak je nutné prijať určité ochranné opatrenia, vedúce k zníženiu nebezpečenstva. Analýzou rozlišujeme štyri riziká, ktorých uvažovanie závisí na charaktere objektu. Cieľom je určiť ich hodnotu, ktorá nesmie prekročiť hranicu prípustného rizika R_T . Ak sú splnené podmienky, ochrana vyhovuje norme ČSN EN 62305.

Obecný algoritmus analýzy rizika je nasledovný:

- 1) Identifikovanie chránenej stavby
- 2) Určenie typu strát príslušných k stavbe alebo inžinierskej sieti
- 3) Pre každý typ strát určiť prípustné riziko
- 4) Pre každý typ strát určiť a vypočítať všetky odpovedajúce súčasti rizika
- 5) Vypočítať celkovú hodnotu predstavovaného rizika
- 6) Porovnať hodnotu celkového rizika s prípustným rizikom
- 7) Vyhodnotenie stavu, pri nesúlade prijať ďalšie ochranné opatrenia

Pre FVE sú uvažované riziká strát na ľudských životoch, verejných službách a ekonomických hodnôt. V rámci analýzy sa neuvažuje s rizikom strát na kultúrnom dedičstve.

Obecný odhad rizika

Obecný predpoklad miery nebezpečenstva je možné stanoviť na základe rozlohy a geografickej polohy FVE.

$$2,6 \text{ ha} \rightarrow 0,026 \text{ km}^2$$

V oblasti Orlických vrchov je priemerná intenzita úderu blesku 2,8 úderov na štvorcový kilometer za rok. Z toho vyplýva pre rozlohu FVE pravdepodobnosť úderu za rok 0,0728. Na základe jednoduchého výpočtu (1rok / 0,0728 úderov za rok) je treba počítať s tým, že k priamemu zásahu blesku do fotovoltickej aplikácie dôjde do 13,74 roku.

Pre odhadovanú dobu životnosti FVE minimálne 20 rokov a s prihliadnutím na to, že stavba sa nachádza na poli bez prítomnosti okolitých vyšších objektov, to predstavuje vysoké riziko ohrozenia investície. Škody ktoré by tak vznikli priamym úderom blesku, by pre investora boli veľmi nevýhodne. Doba návratnosť systému a očakávaného zisku by sa tak mohla podstatne predĺžiť alebo by vôbec nenastala. Taktiež je potrebné si uvedomiť, že vypočítaná doba zásahu blesku je pravdepodobná hodnota a k priamemu zásahu môže dôjsť aj skôr.

6.1 ZADANÉ HODNOTY FVE

Zadané hodnoty stavby:

Rozmery	dĺžka 188 m, šírka 135 m, výška 3,6m
Rozdelenie objektu do zón	1 vonkajšia zóna, 1 vnútorná zóna
Poloha objektu	osamotený objekt, žiadne iné objekty alebo stromy v susedstve
Typ objektu a jeho využitie	FVE s pripojením do distribučnej siete ČEZ
Vonkajší LPS	elektricky izolovaný hromozvod triedy LPS III
Vzdialenosť zvodov	7,3 m
Hustota búrkových dní za rok	28
Riziko požiaru	malé
Protipožiarne opatrenie	žiadne
Výskyt osôb	3 osoby prevažne vo vonkajších priestoroch
Typ povrchu pôdy	poľnohospodárska

Tab. 6-1: Zadaného hodnoty stavby FVE

V rámci stavby FVE, je z dôvodu zjednodušenia uvažovaných päť samostatných stavieb ako jeden celok. Z toho tri stavby predstavujú technické miestnosti (umiestnenie meničov a ochrán), jeden kioskový transformátor vn/nn a samotné fotovoltaičné pole. Takéto zjednodušené uvažovanie vychádza z poznatkov z praxe, kedy sa pre výpočet celkového rizika FVE zväčša zanedbáva rozlišovanie samostatných stavieb. Stavby technických miestností a transformátora vn/nn sú vzhľadom na svoju výšku približne rovnaké ako výška FV panelov. Zjednodušenie navyše vedie k nárastu zvažovaného rizika, čo je pre tieto účely pozitívny faktor. Vyplýva to z o niečo väčšej rozlohy zastavaného územia, ako v prípade, že jednotlivé stavby by boli ponímané ako susedné budovy.

Zadané hodnoty inžinierskej siete:

ČEZ sieť NN	přípojka
Celkové parametre siete	sieť sa skladá z 1 sekcie
Typ vedenia	káblové vedenie
Rezistivita pôdy	500 Ω m
Sieť s transformátorom	áno
Okolie sekcie	venkovské
Celková dĺžka inžinierskej siete	1000 m

Tab. 6-2: Zadaného hodnoty inžinierskej siete pripojenej k stavbe FVE

Do FVE je privedené iba silové vedenia káblové. Telekomunikačné vedenie je nahradené wifi pripojením.

6.2 STANOVENIE SÚČASTÍ RIZÍK PRE STAVBU

6.2.1 Stanovenie súčastí rizík spôsobených údermi do stavby

6.2.1.1 Súčasť rizika súvisiaca s úrazom živých bytostí R_A :

- a) Riziko strát na ľudských životoch: $R_A = 9,162507 \times 10^{-9}$
- b) Riziko strát na verejných službách: $R_A = 0$ (neuvažuje sa)
- c) Riziko strát na kultúrnom dedičstve: $R_A = 0$ (neuvažuje sa)
- d) Riziko strát ekonomických hodnôt: $R_A = 9,162507 \times 10^{-9}$

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad (6.1)$$

kde: N_D – priemerný ročný počet nebezpečných udalostí do stavby (viď. nižšie),
 P_A – pravdepodobnosť, že úder do stavby spôsobí úraz živých bytostí ($P_A = 10^{-3}$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab. B.1, pre účinné potenciálne prepojenie v pôde a varovné nápisy),
 L_A – straty súvisiace s úrazom živých bytostí (viď. nižšie).

Priemerný ročný počet nebezpečných udalostí do stavby N_D :

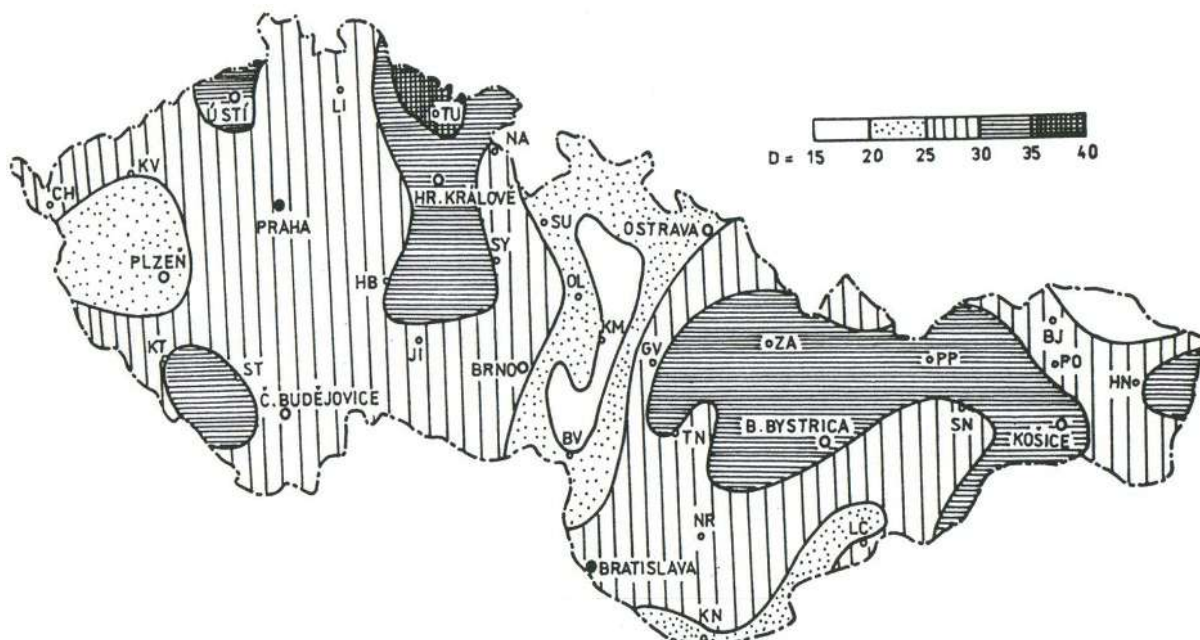
$$N_D = N_g \times A_d \times C_d \times 10^{-6} = 0,09162507 \quad (6.2)$$

kde: N_g – ročná hustota úderov blesku do zeme na jednotku plochy [$1/\text{km}^2/\text{rok}$] (viď. nižšie),
 A_d – zberná oblasť osamotenej stavby [m^2] (viď. nižšie),
 C_d – činiteľ polohy stavby ($C_d = 1$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab. A.2, pre osamotený objekt a žiadne iné objekty v susedstve).

Ročná hustota úderov blesku do zeme na jednotku plochy N_g :

$$N_g \approx 0,1 \times T_d = 2,8 \text{ } 1/\text{km}^2/\text{rok} \quad (6.3)$$

kde: T_d – je počet búrkových dní za rok ($T_d = 28$; hodnota získaná z izokeraunickej mapy viď. obrázok).



Obr. 6.1: Izokeraunická mapa ČR a SR [13]

Zberná oblasť osamotenej stavby A_d :

$$A_d = L \times W + 6 \times H \times (L + W) + 9 \times \text{¶} \times (H)^2 = 32723,24 \text{ m}^2 \quad (6.4)$$

kde: L – dĺžka stavby ($L = 188 \text{ m}$),

W – šírka stavby ($W = 135 \text{ m}$),

H – výška stavby ($H = 3,6 \text{ m}$).

Straty súvisiace s úrazom živých bytostí L_A :

$$L_A = r_a \times L_t \quad (6.5)$$

kde: r_a – činiteľ znižujúci stratu ľudského života, v závislosti na type pôdy alebo podlahy
($r_a = 10^{-2}$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C2, pre zemedelskú pôdu),

L_t – strata spôsobená krokovým alebo dotýkovým napätím (viď. nižšie).

Straty je možné uvažovať v zmysle:

- Strata ľudského života: $L_A = 10^{-4}$
(pre $L_t = 10^{-2}$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C1, pre uvažovanie osôb vo vonkajšej zóne),
- Neprijateľná strata verejnej služby: $L_A = 0$ (neuvažuje sa),
- Strata nenahradiťného kultúrneho dedičstva: $L_A = 0$ (neuvažuje sa),
- Ekonomická strata: $L_A = 10^{-4}$
(pre $L_t = 10^{-2}$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C7, pre uvažovanie osôb vo vonkajšej zóne).

6.2.1.2 Súčasť rizika súvisiaca s hmotnou škodou R_B :

- a) Riziko strát na ľudských životoch: $R_B = 9,162507 \times 10^{-8}$
- b) Riziko strát na verejných službách: $R_B = 9,162507 \times 10^{-8}$
- c) Riziko strát na kultúrnom dedičstve: $R_B = 0$ (neuvažuje sa)
- d) Riziko strát ekonomických hodnôt: $R_B = 9,162507 \times 10^{-7}$

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (6.6)$$

kde: N_D – priemerný ročný počet nebezpečných udalostí do stavby ($N_D = 0,09162507$; vid'. vzorec 6.2),

P_B – pravdepodobnosť, že úder do stavby spôsobí hmotnú škodu
($P_B = 0,1$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab. B.2, hodnota odpovedá triede LPS III),

L_B – straty v stavbe súvisiace s hmotnými škodami (vid'. nižšie).

Straty v stavbe súvisiace s hmotnými škodami L_B :

$$L_B = r_p \times r_f \times h_z \times L_f \quad (6.7)$$

kde: r_p – znižujúci činiteľ rozsahu strát, závislý na použitých protipožiarňoch opatreniach
($r_p = 1$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C.3, pre žiadne použité opatrenia),

r_f – znižujúci činiteľ rozsahu strát, závislý na riziku požiaru stavby ($r_f = 10^{-3}$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C.4, pre malé riziko požiaru),

h_z – zvyšujúci činiteľ rozsahu strát, rešpektujúci prítomnosť zvláštneho rizika ($h_z = 1$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C.5, pre žiadne zvláštne riziko),

L_f – straty v stavbe spôsobené hmotnou škodou (vid'. nižšie).

Straty je možné uvažovať v zmysle:

a) Strata ľudského života: $L_B = 10^{-5}$
(pre $L_f = 10^{-2}$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C.1, stavba zaradená do kolónky ostatné),

b) Neprijateľná strata verejnej služby: $L_B = 10^{-5}$
(pre $L_f = 10^{-2}$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C.6, pre zásobovanie energiou, vo vzorci pre L_b sa neuvažuje činiteľ h_z),

c) Strata nenahradiťného kultúrneho dedičstva: $L_B = 0$ (neuvažuje sa),

d) Ekonomická strata: $L_B = 10^{-4}$
(pre $L_f = 0,1$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C.7, stavba zaradená do kolónky ostatné).

6.2.1.3 Súčasť rizika súvisiaca s poruchou vnútorných systémov R_C :

- a) Riziko strát na ľudských životoch: $R_C = 0$ (neuvažuje sa)
- b) Riziko strát na verejných službách: $R_C = 2,7487521 \times 10^{-6}$
- c) Riziko strát na kultúrnom dedičstve: $R_C = 0$ (neuvažuje sa)
- d) Riziko strát ekonomických hodnôt: $R_C = 2,7487521 \times 10^{-7}$

$$R_C = N_D \times P_C \times L_C \quad (6.8)$$

kde: N_D – priemerný ročný počet nebezpečných udalostí do stavby ($N_D = 0,09162507$; vid'. vzorec 6.2),

P_C – pravdepodobnosť poruchy vnútorných systémov ($P_C = 0,03$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab. B.3, pre koordinovanú ochranu odpovedajúcu LPL III),

L_C – straty súvisiace s poruchou vnútorných systémov (vid'. nižšie).

Straty súvisiace s poruchou vnútorných systémov L_C :

$$L_C = L_0 \quad (6.9)$$

kde: L_0 – straty spôsobené poruchou vnútorných systémov (vid'. nižšie).

Straty je možné uvažovať v zmysle:

- a) Strata ľudského života: $L_C = 0$ (neuvažuje sa),
- b) Neprijateľná strata verejnej služby: $L_C = 10^{-3}$
(pre $L_0 = 10^{-3}$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C.6, pre zásobovanie energiou),
- c) Strata nenahraditeľného kultúrneho dedičstva: $L_C = 0$ (neuvažuje sa),
- d) Ekonomická strata: $L_C = 10^{-4}$
(pre $L_0 = 10^{-4}$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C.7, stavba zaradená do kolónky ostatné).

6.2.2 Stanovenie súčastí rizík spôsobených údermi v blízkosti stavby

6.2.2.1 Súčasť rizika súvisiaca s poruchou vnútorných systémov R_M :

- a) Riziko strát na ľudských životoch: $R_M = 0$ (neuvažuje sa)
- b) Riziko strát na verejných službách: $R_M = 2,9442528 \times 10^{-5}$
- c) Riziko strát na kultúrnom dedičstve: $R_M = 0$ (neuvažuje sa)
- d) Riziko strát ekonomických hodnôt: $R_M = 2,9442528 \times 10^{-6}$

$$R_M = N_M \times P_M \times L_M \quad (6.10)$$

kde: N_M – priemerný ročný počet nebezpečných udalostí v blízkosti stavby (vid'. nižšie),

P_M – pravdepodobnosť, že úder v blízkosti stavby spôsobí poruchu vnútorných systémov ($P_M = 0,03$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab. B.3, pre koordinovanú ochranu odpovedajúcu LPL III),

L_M – straty súvisiace s poruchou vnútorných systémov (viď. nižšie).

Priemerný ročný počet nebezpečných udalostí v blízkosti stavby N_M :

$$N_M = N_g \times (A_m - A_d \times C_d) \times 10^{-6} = 0,9814176 \quad (6.11)$$

kde: N_g – ročná hustota úderov blesku do zeme na jednotku plochy [$1/\text{km}^2/\text{rok}$]

($N_g = 2,8 \text{ } 1/\text{km}^2/\text{rok}$; viď. vzorec 6.3),

A_m – zberná oblasť úderov so zásahmi v blízkosti stavby [m^2] (viď. nižšie),

A_d – zberná oblasť osamotenej stavby [m^2] ($A_d = 32723,24 \text{ m}^2$; viď. vzorec 6.4),

C_d – činiteľ polohy stavby ($C_d = 1$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab. A.2, pre osamotený objekt a žiadne iné objekty v susedstve).

Zberná oblasť úderov so zásahmi v blízkosti stavby A_m :

$$A_m = L \times W + 2 \times (250 \times L + 250 \times W) + \pi \times 250^2 = 383229,5 \text{ m}^2 \quad (6.12)$$

kde: L – dĺžka stavby ($L = 188 \text{ m}$),

W – šírka stavby ($W = 135 \text{ m}$).

– zberná oblasť sa uvažuje v okolí 250 m od stavby.

Straty súvisiace s poruchou vnútorných systémov L_M :

$$L_M = L_0 \quad (6.13)$$

kde: L_0 – straty spôsobené poruchou vnútorných systémov (viď. nižšie).

Straty je možné uvažovať v zmysle:

a) Strata ľudského života: $L_M = 0$ (neuvažuje sa),

b) Neprijateľná strata verejnej služby: $L_M = 10^{-3}$

(pre $L_0 = 10^{-3}$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C.6, pre zásobovanie energiou),

c) Strata nenahraditeľného kultúrneho dedičstva: $L_M = 0$ (neuvažuje sa),

d) Ekonomická strata: $L_M = 10^{-4}$

(pre $L_0 = 10^{-4}$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C.7, stavba zaradená do kolónky ostatné).

6.2.3 Stanovenie súčastí rizík, spôsobených údermi do inžinierskej siete, pripojenej k stavbe

6.2.3.1 Súčasť rizika súvisiaca s úrazom živých bytostí R_U :

a) Riziko strát na ľudských životoch: $R_U = 3,7160229 \times 10^{-8}$

b) Riziko strát na verejných službách: $R_U = 0$ (neuvažuje sa)

c) Riziko strát na kultúrnom dedičstve: $R_U = 0$ (neuvažuje sa)

d) Riziko strát ekonomických hodnôt: $R_U = 3,7160229 \times 10^{-8}$

$$R_U = (N_L + N_{Da}) \times P_U \times L_U \quad (6.14)$$

kde: N_L – priemerný ročný počet nebezpečných udalostí do vedenia pripojeného do stavby (viď. nižšie),

N_{Da} – priemerný ročný počet nebezpečných udalostí do susednej stavby ($N_{Da} = 0$; *žiadna susedná stavba*),

P_U – pravdepodobnosť, že úder do stavby spôsobí úraz živých bytostí ($P_U = 0,03$; *hodnota z ČSN EN 62305-2, tab. B.3, pre koordinovanú ochranu odpovedajúcu LPL III*),

L_U – straty súvisiace s úrazom živých bytostí (viď. nižšie).

Priemerný ročný počet nebezpečných udalostí do vedenia pripojeného do stavby N_L :

$$N_L = N_g \times A_1 \times C_d \times C_t \times 10^{-6} = 0,01238674 \quad (6.15)$$

kde: N_g – ročná hustota úderov blesku do zeme na jednotku plochy [$1/\text{km}^2/\text{rok}$]

($N_g = 2,8 \text{ } 1/\text{km}^2/\text{rok}$; *viď. vzorec 6.3*),

A_1 – zberná oblasť pre údery do inžinierskej siete [m^2] (viď. nižšie),

C_d – činiteľ polohy stavby ($C_d = 1$; *hodnota z ČSN EN 62305-2, tab. A.2, pre osamotený objekt a žiadne iné objekty v susedstve*),

C_t – korekčný činiteľ na vn/nn transformátor na prípojke ($C_t = 0,2$; *hodnota z ČSN EN 62305-2, tab. A.4, pre sieť s dvojvinutovým transformátorom*).

Zberná oblasť pre údery do inžinierskej siete A_1 :

$$A_1 = (L_c - 3 \times (H_a + H_b)) \times \sqrt{\rho} = 22119,18 \text{ m}^2 \quad (6.16)$$

kde: L_c – dĺžka inžinierskej siete [m] ($L_c = 1000 \text{ m}$; *zadaná hodnota*),

H_a – výška susednej stavby [m] ($H_a = 0 \text{ m}$; *žiadna susedná stavba*),

H_b – výška stavby [m] ($H_b = 3,6 \text{ m}$; *zadaná hodnota*),

ρ – rezistivita pôdy v ktorej je sieť uložená [Ωm] ($\rho = 500 \text{ }\Omega\text{m}$; *zadaná hodnota*).

Straty súvisiace s úrazom živých bytostí L_U :

$$L_U = r_u \times L_t \quad (6.17)$$

kde: r_u – činiteľ znižujúci stratu ľudského života, v závislosti na type pôdy alebo podlahy ($r_u = 10^{-2}$; *hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C2, pre zemedelskú pôdu*),

L_t – strata spôsobená krokovým alebo dotykovým napätím (viď. nižšie).

Straty je možné uvažovať v zmysle:

a) Strata ľudského života: $L_U = 10^{-4}$
(*pre $L_t = 10^{-2}$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C1, pre uvažovanie osôb vo vonkajšej zóne*),

b) Neprijateľná strata verejnej služby: $L_U = 0$ (neuvažuje sa),

c) Strata nenahradiťného kultúrneho dedičstva: $L_U = 0$ (neuvažuje sa),

- d) Ekonomická strata: $L_U = 10^{-4}$
 (pre $L_t = 10^{-2}$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C7, pre uvažovanie osôb vo vonkajšej zóne).

6.2.3.2 Súčasť rizika súvisiaca s hmotnou škodou R_V :

- a) Riziko strát na ľudských životoch: $R_V = 3,7160229 \times 10^{-9}$
 b) Riziko strát na verejných službách: $R_V = 3,7160229 \times 10^{-9}$
 c) Riziko strát na kultúrnom dedičstve: $R_V = 0$ (neuvažuje sa)
 d) Riziko strát ekonomických hodnôt: $R_V = 3,7160229 \times 10^{-8}$

$$R_V = (N_L + N_{Da}) \times P_V \times L_V \quad (6.18)$$

- kde: N_L – priemerný ročný počet nebezpečných udalostí do vedenia pripojeného do stavby
 ($N_L = 0,01238674$; vid'. vzorec 6.15),
 N_{Da} – priemerný ročný počet nebezpečných udalostí do susednej stavby ($N_{Da} = 0$;
 žiadna susedná stavba),
 P_V – pravdepodobnosť, že úder do inžinierskej siete spôsobí hmotnú škodu
 ($P_V = 0,03$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab. B.3, pre koordinovanú ochranu
 odpovedajúcu LPL III),
 L_V – straty súvisiace s hmotnými škodami (vid'. nižšie).

Straty súvisiace s hmotnými škodami L_V :

$$L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_f \quad (6.19)$$

- kde: r_p – znižujúci činiteľ rozsahu strát, závislý na použitých protipožiarnych opatreniach
 ($r_p = 1$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C.3, pre žiadne použité opatrenia),
 r_f – znižujúci činiteľ rozsahu strát, závislý na riziku požiaru stavby ($r_f = 10^{-3}$; hodnota
 z ČSN EN 62305-2, tab.C.4, pre malé riziko požiaru),
 h_z – zvyšujúci činiteľ rozsahu strát, rešpektujúci prítomnosť zvláštneho rizika ($h_z = 1$;
 hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C.5, pre žiadne zvláštne riziko),
 L_f – straty v stavbe spôsobené hmotnou škodou (vid'. nižšie).

Straty je možné uvažovať v zmysle:

- a) Strata ľudského života: $L_V = 10^{-5}$
 (pre $L_f = 10^{-2}$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C.1, stavba zaradená do kolónky
 ostatné),
 b) Neprijateľná strata verejnej služby: $L_V = 10^{-5}$
 (pre $L_f = 10^{-2}$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C.6, pre zásobovanie energiou, vo
 vzorci pre L_b sa neuvažuje činiteľ h_z),
 c) Strata nenahraditeľného kultúrneho dedičstva: $L_V = 0$ (neuvažuje sa),

- d) Ekonomická strata: $L_V = 10^{-4}$
 (pre $L_f = 0,1$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C.7, stavba zaradená do kolónky ostatné).

6.2.3.3 Súčasť rizika súvisiaca s poruchou vnútorných systémov R_W :

- a) Riziko strát na ľudských životoch: $R_W = 0$ (neuvažuje sa)
 b) Riziko strát na verejných službách: $R_W = 3,7160229 \times 10^{-7}$
 c) Riziko strát na kultúrnom dedičstve: $R_W = 0$ (neuvažuje sa)
 d) Riziko strát ekonomických hodnôt: $R_W = 3,7160229 \times 10^{-8}$

$$R_W = (N_L + N_{Da}) \times P_W \times L_W \quad (6.20)$$

kde: N_L – priemerný ročný počet nebezpečných udalostí do vedenia pripojeného do stavby
 ($N_L = 0,01238674$; vid'. vzorec 6.15),

N_{Da} – priemerný ročný počet nebezpečných udalostí do susednej stavby ($N_{Da} = 0$; žiadna susedná stavba),

P_W – pravdepodobnosť, že úder do inžinierskej siete spôsobí poruchu vnútorných systémov ($P_W = 0,03$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab. B.3, pre koordinovanú ochranu odpovedajúcu LPL III),

L_W – straty súvisiace s poruchou vnútorných systémov (vid'. nižšie).

Straty súvisiace s poruchou vnútorných systémov L_W :

$$L_W = L_0 \quad (6.21)$$

kde: L_0 – straty spôsobené poruchou vnútorných systémov (vid'. nižšie).

Straty je možné uvažovať v zmysle:

- a) Strata ľudského života: $L_W = 0$ (neuvažuje sa),
 b) Neprijateľná strata verejnej služby: $L_W = 10^{-3}$
 (pre $L_0 = 10^{-3}$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C.6, pre zásobovanie energiou),
 c) Strata nenahradiťného kultúrneho dedičstva: $L_W = 0$ (neuvažuje sa),
 d) Ekonomická strata: $L_W = 10^{-4}$
 (pre $L_0 = 10^{-4}$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C.7, stavba zaradená do kolónky ostatné).

6.2.4 Stanovenie súčastí rizík, spôsobených údermi v blízkosti inžinierskej siete, pripojenej k stavbe

6.2.4.1 Súčasť rizika súvisiaca s poruchou vnútorných systémov R_Z :

- a) Riziko strát na ľudských životoch: $R_Z = 0$ (neuvažuje sa)
- b) Riziko strát na verejných službách: $R_Z = 9,0198828 \times 10^{-6}$
- c) Riziko strát na kultúrnom dedičstve: $R_Z = 0$ (neuvažuje sa)
- d) Riziko strát ekonomických hodnôt: $R_Z = 9,0198828 \times 10^{-7}$

$$R_Z = (N_I - N_L) \times P_Z \times L_Z \quad (6.22)$$

kde: N_I – priemerný ročný počet nebezpečných udalostí v blízkosti vedenia pripojeného do stavby (vid'. nižšie),

N_L – priemerný ročný počet nebezpečných udalostí do vedenia pripojeného do stavby ($N_L = 0,01238674$; vid'. vzorec 6.15),

P_Z – pravdepodobnosť, že úder do inžinierskej siete spôsobí poruchu vnútorných systémov ($P_Z = 0,03$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab. B.3, pre koordinovanú ochranu odpovedajúcu LPL III),

L_Z – straty súvisiace s poruchou vnútorných systémov (vid'. nižšie).

Priemerný ročný počet nebezpečných udalostí v blízkosti vedenia pripojeného do stavby N_I :

$$N_I = N_g \times A_i \times C_e \times C_t \times 10^{-6} = 0,3130495 \quad (6.23)$$

kde: N_g – ročná hustota úderov blesku do zeme na jednotku plochy [$1/\text{km}^2/\text{rok}$]

($N_g = 2,8 \text{ } 1/\text{km}^2/\text{rok}$; vid'. vzorec 6.3),

A_i – zberná oblasť pre údery v blízkosti inžinierskej siete [m^2] (vid'. nižšie),

C_e – činiteľ prostredia ($C_e = 1$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab. A.5, pre venkovské prostredie),

C_t – korekčný činiteľ na vn/nn transformátor na prípojke ($C_t = 0,2$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab. A.4, pre sieť s dvojvinutovým transformátorom).

Zberná oblasť pre údery v blízkosti inžinierskej siete A_i :

$$A_i = 25 \times L_c \times \sqrt{\rho} = 559016,99 \text{ m}^2 \quad (6.24)$$

kde: L_c – dĺžka inžinierskej siete [m] ($L_c = 1000 \text{ m}$; zadaná hodnota),

ρ – rezistivita pôdy v ktorej je sieť uložená [Ωm] ($\rho = 500 \text{ } \Omega\text{m}$; zadaná hodnota).

Straty súvisiace s poruchou vnútorných systémov L_Z :

$$L_Z = L_0 \quad (6.25)$$

kde: L_0 – straty spôsobené poruchou vnútorných systémov (vid'. nižšie).

Straty je možné uvažovať v zmysle:

- a) Strata ľudského života: $L_Z = 0$ (neuvažuje sa),
- b) Neprijateľná strata verejnej služby: $L_Z = 10^{-3}$
(pre $L_0 = 10^{-3}$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C.6, pre zásobovanie energiou),
- c) Strata nenahraditeľného kultúrneho dedičstva: $L_Z = 0$ (neuvažuje sa),
- d) Ekonomická strata: $L_Z = 10^{-4}$
(pre $L_0 = 10^{-4}$; hodnota z ČSN EN 62305-2, tab.C.7, stavba zaradená do kolónky ostatné).

6.3 VYHODNOTENIE RIZIKA

6.3.1 Vyhodnotenie rizika pre stavbu

- a) Riziko strát na ľudských životoch

$$R_1 = R_A + R_B + R_U + R_V = 9,162507 \times 10^{-9} + 9,162507 \times 10^{-8} + 3,7160229 \times 10^{-8} + 3,7160229 \times 10^{-9} = 1,4166383 \times 10^{-7} \quad (6.26)$$

- b) Riziko strát na verejných službách

$$R_2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z = 9,162507 \times 10^{-8} + 2,7487521 \times 10^{-6} + 2,9442528 \times 10^{-5} + 3,7160229 \times 10^{-9} + 3,7160229 \times 10^{-7} + 9,0198828 \times 10^{-6} = 4,1678106 \times 10^{-5} \quad (6.27)$$

- c) Riziko strát na kultúrnom dedičstve (neuvažuje sa),

$$R_3 = 0$$

- d) Riziko strát ekonomických hodnôt

$$R_4 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z = 9,162507 \times 10^{-7} + 2,7487521 \times 10^{-7} + 2,9442528 \times 10^{-6} + 3,7160229 \times 10^{-8} + 3,7160229 \times 10^{-8} + 9,0198828 \times 10^{-7} = 5,1116874 \times 10^{-6} \quad (6.28)$$

Porovnanie s prípustným rizikom

Typy strát	$R_T (y^{-1})$
Straty na ľudských životoch alebo trvalé úrazy	$10^{(-5)}$
Strata verejnej služby	$10^{(-3)}$
Strata kultúrneho dedičstva	$10^{(-3)}$
Straty ekonomických hodnôt	$10^{(-3)}$

Tab. 6-3: Hodnoty prípustných rizík pre stavbu FVE

Porovnaním vypočítaných hodnôt rizika s hodnotami prípustných rizík pre stavbu je zrejmé, že daná stavba s uvažovanými ochrannými opatreniami vyhovuje požiadavkám normy ČSN EN 62305. Nie je nutné voliť ďalšie ochranné opatrenia. Hodnota prípustného rizika strát ekonomických hodnôt bola zvolená 10^{-3} . Norma túto hodnotu neuvádza, vzhľadom na závislosť od charakteristik danej stavby, jej hodnoty a požiadaviek vlastníka.

6.3.2 Overenie vypočítaného rizika pre stavbu pomocou programu “Milanov software pre výpočet rizika podľa ČSN EN 62305”

Pre kontrolu správnosti výsledkov a dôkladnejšej analýzy rizika, bol použitý výpočtový program. Jeho využitie bolo v dvoch krokoch. V prvom bola zistená miera nebezpečenstva hroziaca pri údere blesku, v prípade že stavba neobsahuje žiadne ochranné opatrenia. Tento stav predstavuje východiskový bod, od ktorého sa odvíja návrh opatrení pre minimalizáciu strát. V druhom kroku bolo overené, či prostredníctvom zvolených ochranných opatrení nastane vyhovujúci stav a teda nebudú prekročené hodnoty prípustných rizík.

Výpočet programu prebieha po zadaní údajov, ktoré sa uvádzajú vo viacerých sekciách. V rámci programu funguje stručná napovedá, odpovedajúca predpisom normy ČSN EN 62305.

Výpočet rizika pre FVE bez ochranných opatrení proti blesku:

Vyhodnocení rizika:		
Riziko R1 - riziko ztrát lidských životů		
0,0000 11441298	>	0,0000 10000000
vypočtené riziko		připustné riziko
Riziko R2 - riziko ztrát na veřejných službách		
0,00 1367132266	>	0,00 1000000064
vypočtené riziko		připustné riziko
Riziko R3 - riziko ztrát na kulturním dědictví		
0,0000 10401181	<	0,00 1000000064
vypočtené riziko		připustné riziko
Riziko R4 - riziko ztrát ekonomických hodnot		
0, 138619617280	>	0,00 1000000064
vypočtené riziko		připustné riziko

Obr. 6.2 Výpočet rizik strát pre FVE nechránenú proti bleskom, pomocou programu “Milanov software pre výpočet rizika podľa ČSN EN 62305” [13]

Z výpočtu vyplýva, že FVE je nedostatočne chránená vo všetkých uvažovaných stratách. Preto je nutné pristúpiť k voľbe ochranných opatrení. Ako už bolo spomenuté, riziko strát na kultúrnom dedičstve sa neuvažuje, čo vyplýva z charakteru stavby.

Výpočet rizika pre FVE s navrhnutými ochrannými opatreniami proti blesku:

Vyhodnocení rizika:		
Riziko R1 - riziko ztrát lidských životů		
0,000000 141663	<	0,0000 100000000
vypočtené riziko		přípustné riziko
Riziko R2 - riziko ztrát na veřejných službách		
0,0000 41678108	<	0,00 1000000064
vypočtené riziko		přípustné riziko
Riziko R3 - riziko ztrát na kulturním dědictví		
0,000000 953410	<	0,00 1000000064
vypočtené riziko		přípustné riziko
Riziko R4 - riziko ztrát ekonomických hodnot		
0,00 4159229696	>	0,00 1000000064
vypočtené riziko		přípustné riziko

Obr. 6.3: Výpočet rizik strát pre FVE chránenú proti bleskom, pomocou programu "Milanov software pre výpočet rizika podľa ČSN EN 62305" [13]

Z programom získaných výsledkov je vidieť, že všetky vypočítané riziká okrem R_4 sú menšie ako ich prípustné hodnoty. Príčina nesúladu výsledku R_4 bola preverená a dospel som k záveru, že pochybenie nastáva zo strany programu. V ňom bola mnou odhalená nesprávna hodnota L_0 , s ktorou program počíta. Miesto hodnoty $L_0 = 0,0001$, ktorá odpovedá norme ČSN EN 62305, je zadané $L_0 = 0,1$. Tým sú ovplyvnené riziká R_C , R_M , R_W , R_Z , čo sa prejaví v konečnom súčte rizika R_4 . Z tohto dôvodu preto naďalej neuvažujem túto hodnotu. Záverom je teda možné prehlásiť, že FVE spĺňa bezpečnostné požiadavky normy ČSN EN 62305.

Porovnaním hodnôt získaných programom s ručne vypočítanými je vidieť, že obidvomi spôsobmi bol dosiahnutý zhodný stav (okrem rizika R_4). Ručný výpočet by mal byť preto správny.

7 NÁVRH VONKAJŠEJ OCHRANY PROTI BLESKU FVE

Návrh vonkajšej ochrany predstavuje komplexné riešenie vhodne zvoleného systému bleskozvodu. Jeho súčasťou je potrebné navrhnuť pre všetky typy samostatných objektov v rámci stavby FVE (fotovoltaické pole, transformačná stanica vn/nn a tri technické miestnosti). Návrh musí rešpektovať súbor platných noriem ČSN EN 62305 a mal by brať do úvahy aj podmienky, ktoré stanovujú poisťovne. Pri ich nedodržaní totiž vznikajú problémy poistenia často veľmi drahých aplikácií, čo investor zväčša nemôže pripustiť. Tlak poisťovní na ochranu fotovoltaických aplikácií pritom čoraz viac narastá. Dôvodom je súčasný rozmach ich výstavby, s čím súvisia aj nové technické poznatky ohľadom fotovoltaiky. Pre poisťovňu by totiž žiadna alebo neodborne prevedená vonkajšia ochrana, čo bol doteraz častý jav, predstavovala veľmi nevýhodný biznis.

7.1 NÁVRH VONKAJŠEJ OCHRANY FOTOVOLTAICKÝCH PANELOV

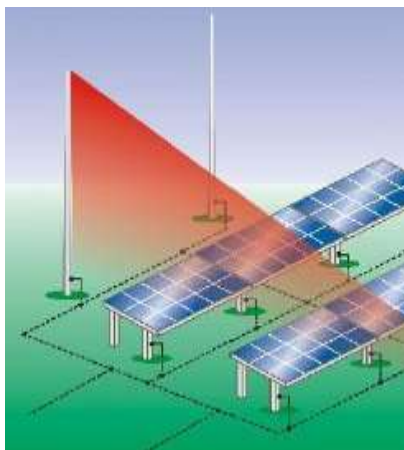
Plocha ktorú predstavuje fotovoltaické pole, je dominantná v porovnaní s ostatnými objektmi v rámci stavby FVE. Navyše, výška nosných konštrukcií býva často najväčšia v širokom okolí, v prípade, že nie je v blízkosti výskyt iných okolitých objektov. Logicky tak panely predstavujú najväčšie ohrozenie priamym zásahom blesku.

7.1.1 Návrh zachytávacieho zariadenia fotovoltaických panelov

V praxi sú známe nasledovné spôsoby prevedenia zachytávacej sústavy:

a) Sústava samostatne stojacich stožiarov

- použitie pri statických fotovoltaických elektrárnach je ojedinelé. Vzhľadom na rozsiahlu a husto zastavanú plochu je výstavba stožiarov vo vnútri poľa nepraktickým riešením. Výška stožiarov môže byť až 24 m a pre zabezpečenie stability sú potrebné oceľové laná. Ich výhodné umiestnenie je po okrajoch aplikácií. V našom prípade však ani takto vysoké stožiare nevyhovujú pri metóde valiacej sa gule. Zhora by nastal prepád gule priamo na panely. Pre dodržanie potrebnej ochrany by tak bolo nutné sústavu doplniť o stožiare vo vnútri poľa, čo nepripadá do úvahy. Ich nevýhodou by bolo aj výraznejšie zatienenie panelov v dôsledku širších rozmerov. Zachytávacie stožiare nachádzajú svoje uplatnenie v rámci menších fotovoltaických aplikácií, prípadne pri vysokých polohovateľných nosných konštrukciách.



Obr. 7.1: Zachytávacia sústava samostatne stojacích stožiarov [12]

b) Sústava oddialených zachytávacích tyčí

- pre statickú fotovoltaiickú elektráreň predstavuje táto sústava najideálnejšie riešenie zabezpečenia ochrany proti blesku. Avšak musí platiť, že vzdialenosti medzi radami panelov sú natoľko veľké, že je inštalácia realizovateľná. Prevedenie zachytávacej sústavy je možné dvomi spôsobmi. Prvý predstavuje súvislú tyč upevnenú na povrchu zeme pomocou betónového podstavca a následné spojenie s uzemňovacou sústavou prostredníctvom vyvedeného drôtu. Druhý spôsob spočíva v uchytení tyče na konštrukciu panelov a zvod je realizovaný ešte nad povrchom zeme pomocou drôtu. V oboch prípadoch je však potrebné uchytenie tyče o nosnú konštrukciu z dôvodu stability voči vetru. Uchytenie sa dosiahne pomocou dištančných nevodivých vzpier. Charakteristikou tohto spôsobu ochrany je použitie veľkého počtu tyčí v porovnaní s predchádzajúcim spôsobom. Takto navrhnutá vonkajšia ochrana predstavuje spoľahlivú ochranu pred bleskovým prúdom.



Obr. 7.2: Sústava oddialených zachytávacích tyčí [12]

c) Sústava zachytávacích tyčí upevnených o nosnú konštrukciu panelov

- prevedenie vonkajšej ochrany je podobné sústave oddialených tyčí. Aj v tomto prípade sú tyče oddialené od panelov na hodnotu dostatočnej vzdialenosti s. Rozdiel však je v ich priamom spojení s kovovou nosnou konštrukciou tesne pod horným okrajom. Nosná konštrukcia je tak využitá ako náhodný zvod. V mieste nad zemou je z konštrukcie vyvedený

drôt, v ktorom zvod prechádza do uzemňovacej sústavy. Pri zachytení bleskového výboja týmto systémom nastáva prechod prúdu nebezpečných hodnôt kovovou konštrukciou. To môže mať za následok poruchu citlivých fotovoltaických aplikácií. Tento spôsob sa preto nemôže považovať za bezpečný. K jeho využitiu sa však pristupuje, ak vzdialenosti medzi radami panelov neumožňujú inštaláciu oddialenej zachytávacej sústavy. Výhody v porovnaní s ňou má systém tyčí upevnených o nosnú konštrukciu v úspore materiálu. Taktiež dĺžka zachytávacích tyčí presahujúca vrchný okraj konštrukcie býva menších hodnôt, čo znižuje prípadný jej tieniaci efekt.



Obr. 7.3: Sústava zachytávacích tyčí upevnených o nosnú konštrukciu panelov [12]

d) Zachytávacia sústava vodorovného vedenia

- ide o neobvyklú sústavu, ktorej použitie je veľmi ojedinelé. Z teoretického hľadiska predstavuje veľmi kvalitnú ochranu proti bleskom. Chránené panely sa nachádzajú pod súvislou ochrannou hladinou horizontálneho vedenia, umiestneného v dostatočnej vzdialenosti s od panelov. Výška zachytávacieho vedenia presahujúca vrchný okraj je minimálna a zvislé zvody smerujúce do uzemňovacej sústavy nie sú vo vodivom spojení s nosnou konštrukciou. Veľkou nevýhodou tohto typu je prílišná cena, kedy finančné náklady na jeho realizáciu môžu byť až päťnásobne väčšie ako v prípade oddialenej zachytávacej sústavy. Dôvodom je časté použitie podpier, o ktoré si sústava vyžaduje doplniť kvôli stabilite. V zimnom období sa totiž môžu na kovovom vedení tvoriť námrazky. Nutnosť použitia podpier je približne každého 1,5 m.



Obr. 7.4: Príklad zachytávacej sústavy vodorovného vedenia v riešení nosnej konštrukcie z dreva [12]

e) Použitie kovovej nosnej konštrukcie ako zachytávacej sústavy

- v počiatočných výstavbách fotovoltaických elektrární predstavovalo použitie takéhoto spôsobu ochrany pred bleskom častý jav. V súčasnosti sa výrazne upustilo od tohto riešenia pri výstavbe nových fotovoltaických elektrární. Dôvodom sú nové poznatky a už spomínané požiadavky zo strany poisťovní. Zachytávacia sústava a súčasť zvodu je riešená čisto iba kovovou nosnou konštrukciou. Druhou časťou zvodu je vyvedenie vodiča nad úrovňou zeme z konštrukcie.

Z menovaných variant zachytávacej sústavy sa javí pre našu FVE ako najlepšia možnosť použiť oddialenú sústavu tyčí. Sústava sa zvolila ako druhé prevedenie tohto spôsobu, užitím zachytávacej tyče s napojením na vodič zvodu nad úrovňou zeme.

Návrh zachytávacej sústavy pozostáva z dvoch metód a to metódy ochranného uhla a valiacej sa gule. Pomocou metód bola navrhnutá sústava oddialených tyčí tak, aby bola elektráreň účinne chránená proti možným zásahom blesku. Pre návrh tyčí oboch metód bol použitý modelovací program Rhinoceros. Kvôli prehľadnosti boli metódy prevedené iba na vzorke z panelov, a to v tých najkritickejších miestach.

7.1.1.1 Návrh zachytávacej sústavy panelov metódou ochranného uhla

Výška zachytávacej tyče pri metóde uhla musí byť taká, aby sa chránený objekt nachádzal celý pod jej vytvorenou ochrannou úrovňou kužeľovitého tvaru. V prípade objektu chráneného viacerými zachytávacími tyčami predstavuje ochranná úroveň množinu navzájom sa prelínajúcich kužeľov.

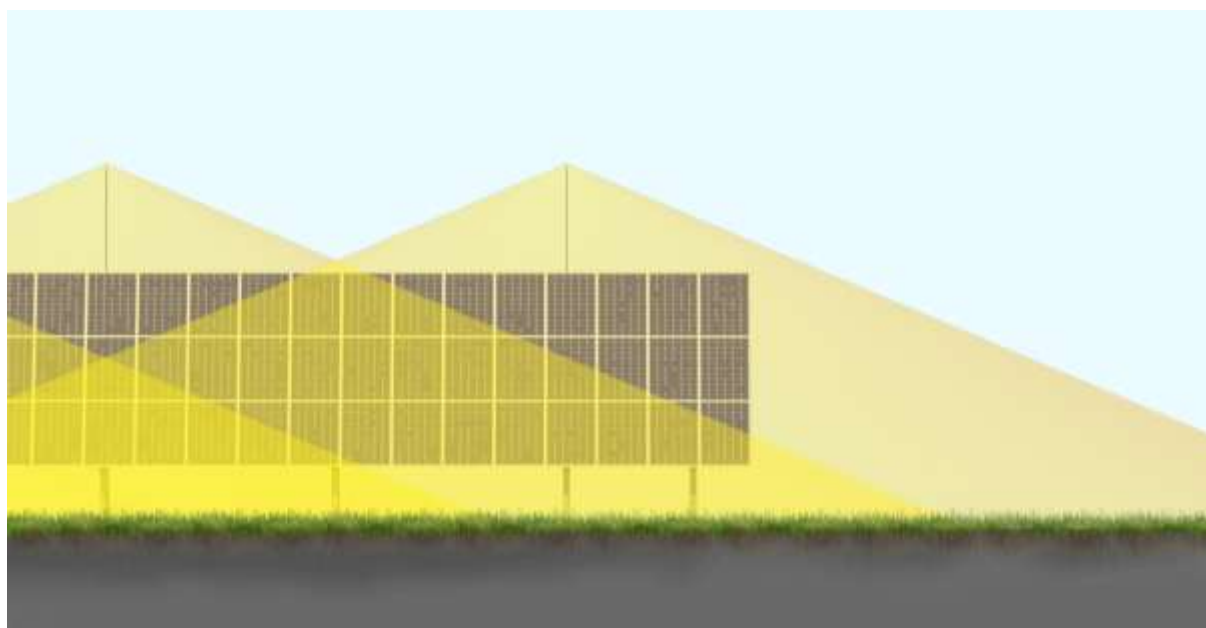
Ochranný uhol je možné určiť pomocou grafu (vid'. obr. 5), prípadne použitím výpočtového programu. Vzhľadom k tomu, že výpočet programom mi prišiel presnejší, volil som práve túto variantu. Pre získanie uhla som použil program názvu Milanův výpočet ochranného uhlu. V programe je potrebné zadať údaje ako triedu LPS, referenčnú rovinu a celkovú výšku zachytávacej sústavy v metroch. Výšku som volil na základe metódy valiacej sa gule a to 5,12 m.



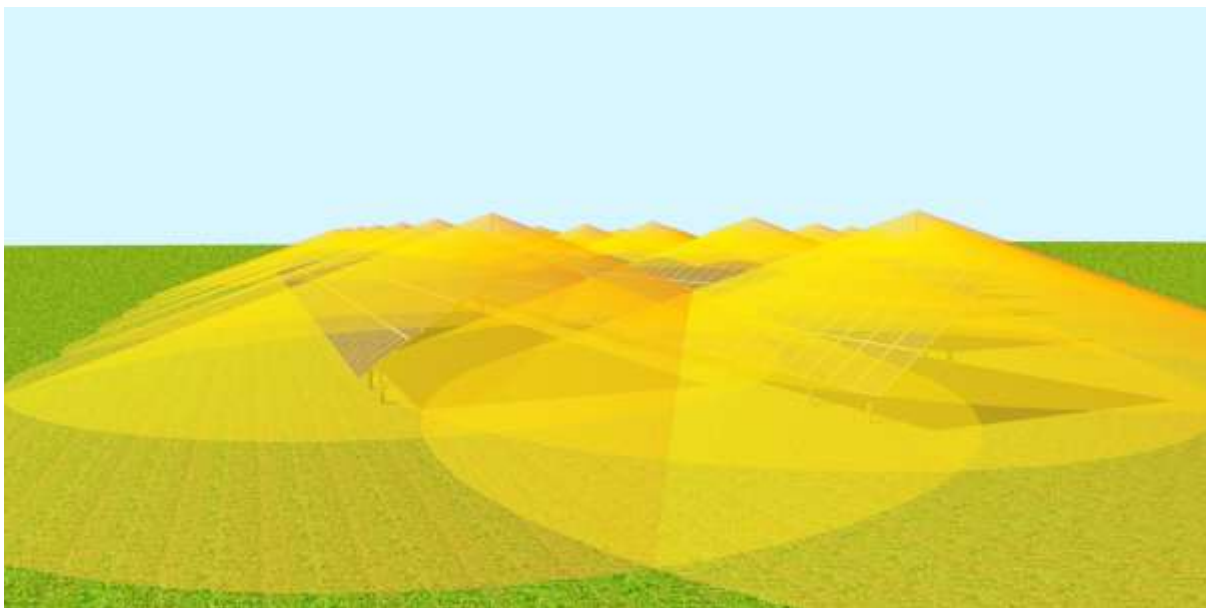
Obr. 7.5: Výpočet ochranného uhla pomocou programu Milanův výpočet ochranného úhlu [14]

Pomocou získanej hodnoty ochranného uhla, zaokrúhleného na hodnotu $69,3^\circ$, bolo následne možné stanoviť efektívne vzdialenosti medzi susednými zachytávacími tyčami. Cieľom bolo dosiahnuť, aby pri danom uhle boli rozstupy medzi tyčami čo najväčšie, pričom by sa kužele navzájom prelínali.

Na nasledujúcich obrázkoch sú zobrazené fotovoltaické panely vo vybraných pohľadoch, pri metóde ochranného uhla v 3D.



Obr. 7.6: Metóda ochranného uhla – náhľad na vybranú časť panelov z rohu



Obr. 7.7: Metóda ochranného uhla - predný pohľad z kraja prvej rady panelov

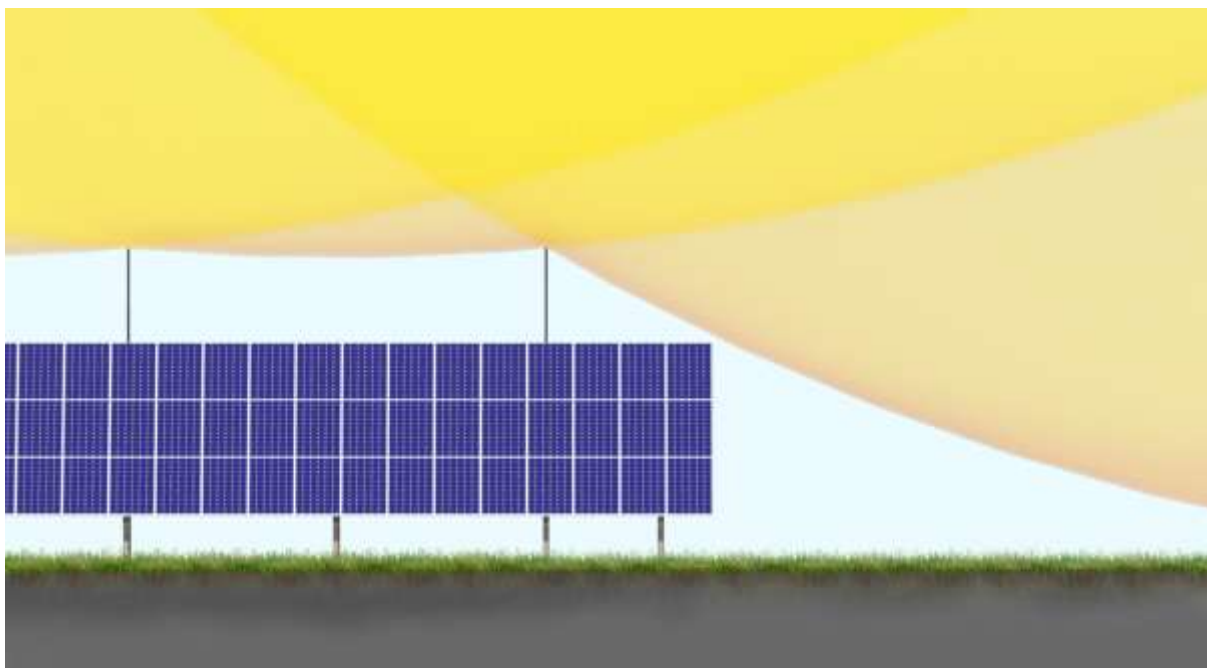
Z obrázkov je vidieť, že navrhnutá zachytávacia sústava vyhovuje kritériám metódy ochranného uhla. Celá FVE sa nachádza pod úrovňou ochrannej hladiny. Zachytávaciu sústavu je však potrebné ešte overiť metódou valiacej sa gule. Tá môže odhaliť prípadné kritické miesta, ktoré sa nemusia prejavíť užitím iba jednej metódy.

7.1.1.2 Návrh zachytávacej sústavy panelov metódou valiacej sa gule

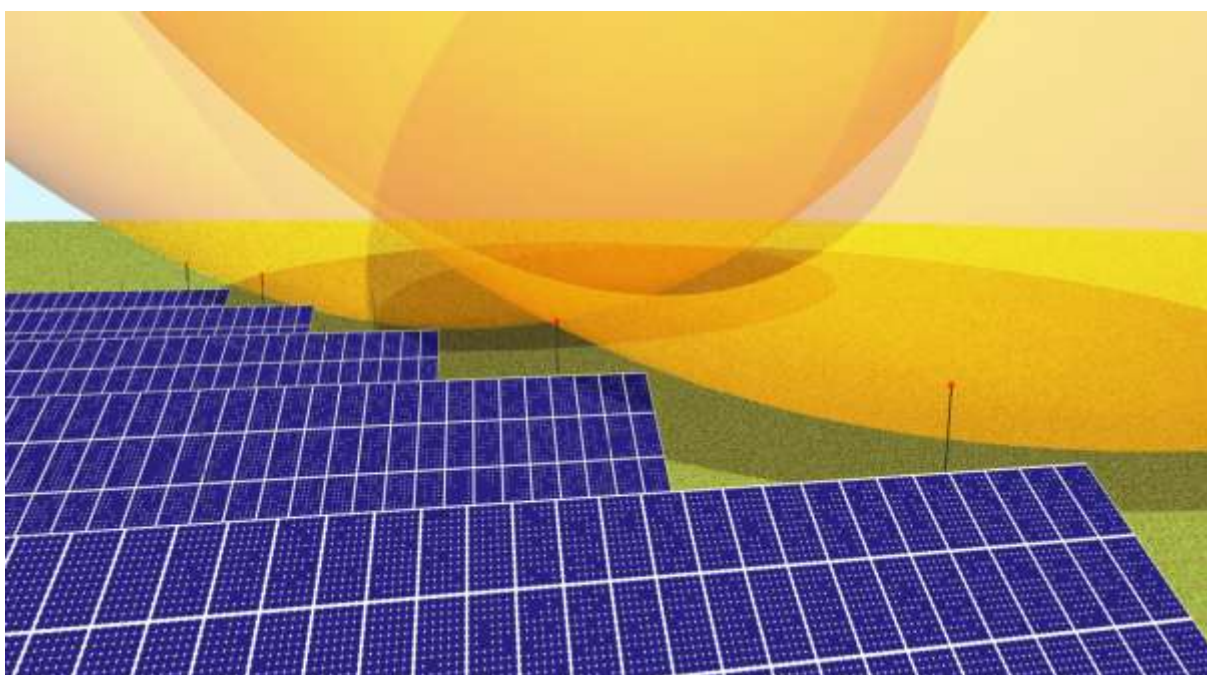
Princíp metódy spočíva v tom, že na objekt, ktorý je treba chrániť, je valená guľa zo všetkých možných smerov. Za týchto okolností pritom nemôže dôjsť k dotyku gule s iným miestom, ako navrhnutým zachytávacím zariadením. Polomer valiacej sa gule, ako už bolo spomenuté, závisí na triede LPS. V prípade navrhovanej FVE odpovedajúcej triede III, činí tento polomer veľkosť 45 m.

Metódou bola volená výška a vzdialenosť zachytávacích tyčí od bočných strán nosných konštrukcií tak, aby sa dosiahlo efektívnosti využitia s ohľadom na ich minimalizáciu počtu. Súčasne sa vychádzalo z toho, aby výška zachytávacích tyčí príveľmi nepresahovala vrchný okraj konštrukcií a bola tak stabilná. Konečná výška nad úrovňou konštrukcie panelov sa stanovila na hodnotu 1,5 m.

Na nasledujúcich obrázkoch je znázornená skúška navrhnutej sústavy zachytávacích tyčí FVE metódou valiacej sa gule.



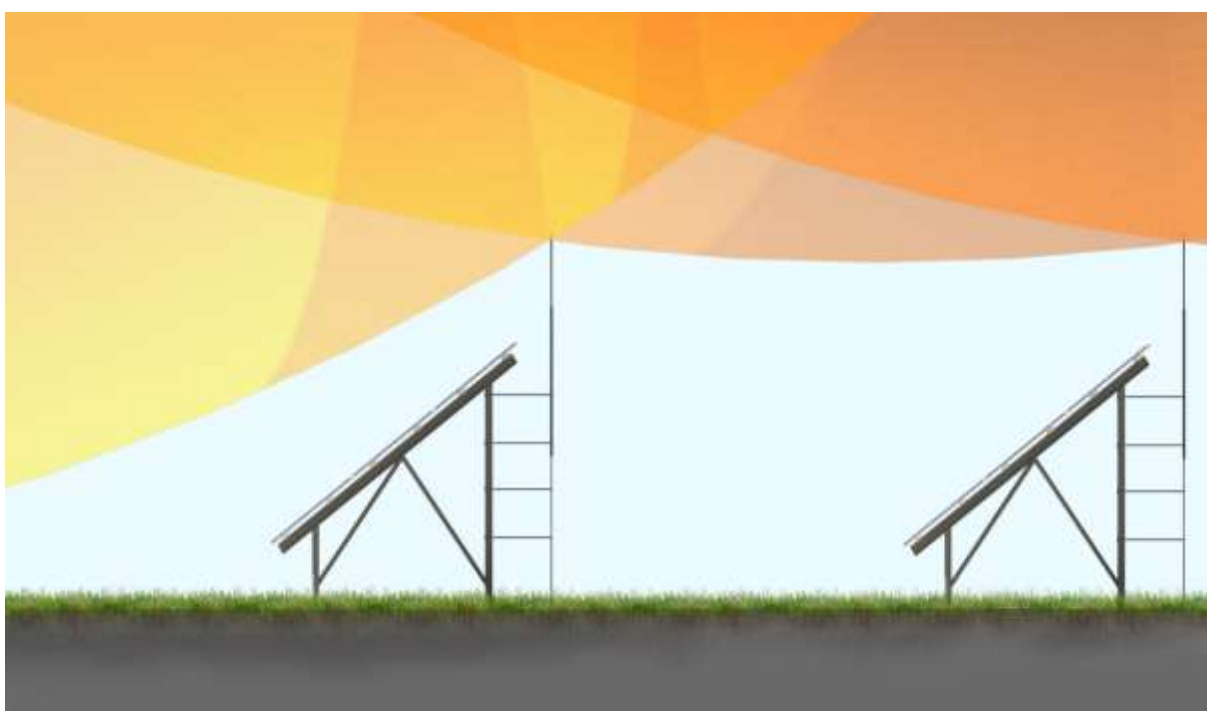
Obr. 7.8: Metóda valiacej sa gule – guľa sa valí z boku a prechádza ponad konštrukciu panelov



Obr. 7.9: Metóda valiacej sa gule – guľa sa valí pozdĺž okraja výstavby panelov

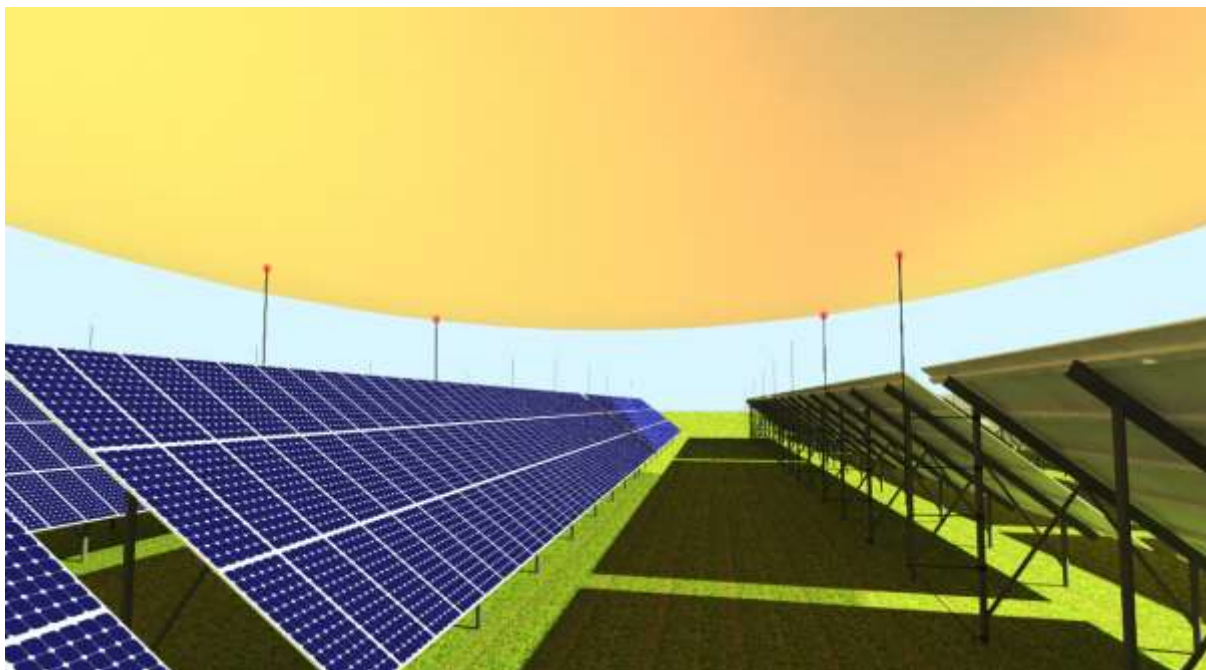


Obr. 7.10: Metóda valiacej sa gule – guľa sa valí na sústavu predných panelov



Obr. 7.11: Metóda valiacej sa gule – guľa sa valí spredu a prechádza ponad sústavu konštrukcií panelov

Ochrana FVE predstavuje rozsiahlu sústavu zachytávacích tyčí. Je preto potrebné skontrolovať presah valiacej gule v sústave a zistiť, či nedochádza k nedovolenému dotyku s chránenými časťami. Najkritickejšie miesto z tohto hľadiska predstavuje prepád gule medzi štyrmi tyčami.



Obr. 7.12: Metóda valiacej sa gule – guľa nachádzajúca sa medzi štyrmi zachytávacími tyčami

Z predchádzajúcich obrázkov zreteľne vyplýva, že navrhnutá zachytávacía sústava FVE so svojou výškou a rozmiestnením vyhovuje obidvom použitým metódam. Na základe toho je možné konštatovať, že svojou ochrannou hladinou vyhovuje požiadavkám normy ČSN EN 62305.

7.1.1.3 Návrh vyhotovenia zachytávacieho zariadenia panelov

Zachytávacía izolovaná tyč bola zvolená z materiálu AlMgSi so zúženým priemerom 16/10 mm a dĺžky 3000 mm. Zúženie na hodnotu 10 mm platí pre prvý meter dĺžky tyče a zvyšná časť je hrúbky 16 mm. Výber takéhoto prevedenia tyče skĺbi výhody nižšej ceny a minimalizácie tieniaceho efektu na panely. Celková výška ktorej tyč dosahuje je 5100 mm nad zemou. Je uchytená v dvoch miestach ku nosnej konštrukcii panelov pomocou dištančných podpier a objímok. Vzďialenosť v najkritickejšom mieste voči konštrukcii bola zvolená hodnoty 550 mm. Vzďialenosť bola overená výpočtom dostatočnej vzdialenosti s , ktorú je potrebné dodržať vzhľadom na hroziace riziko prechodu bleskového prúdu.

Výpočet dostatočnej vzdialenosti:

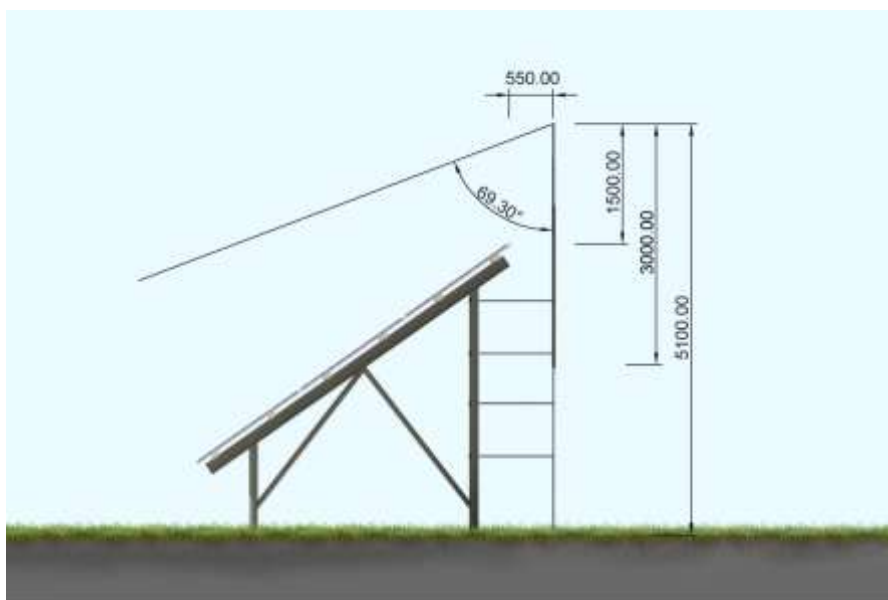
$$s = k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} \cdot L = 0,04 \cdot \frac{1}{1} \cdot 3,6 = 0,144 \text{ m} \quad (7.1)$$

kde: k_i – koeficient závisiaci na zvolenej triede LPS (pre triedu LPS III je $k_i = 0,04$),
 k_c – koeficient závisiaci na bleskovom prúde tečúcom zvodmi (pre počet zvodov $n = 1$, je $k_c = 1$),
 k_m – koeficient závisiaci na materiály elektrickej izolácie (pre vzduch je $k_m = 1$),
 L – dĺžka pozdĺž zachytávacej sústavy alebo zvodu. Začína od miesta, kde je zisťovaná dostatočná vzdialenosť a končí v najbližšom bode ekvipotenciálneho pospájania ($L = 3,6$ m).

- navrhovaná vzdialenosť spĺňa bezpečnostnú podmienku.

7.1.2 Návrh zvodu fotovoltaiických panelov

Zachytávacia tyč pokračuje napojením zvodu do uzemňovacej sústavy. Zvod je navrhnutý z izolovaného drôtu FeZn o priemere 10 mm. Izolované riešenie minimalizuje nežiaduce účinky blesku a nie je pri ňom potrebné zabezpečiť protikorózne opatrenia ako v prípade holého drôtu. Zvod je taktiež uchytený v dvoch miestach nosnej konštrukcie pomocou dištančných podpier a objímok. Končí spojením s mrežovou uzemňovacou sústavou a jeho dĺžka je 2100 mm. V prípade ochrany pred bleskom FVE nie je potrebné doplniť zvod o samostatnú časť bleskozvodu a to o skúšobnú svorku. Jej použitie je zbytočné z hľadiska merania celkového odporu uzemnenia, pretože by sa nezapočítaval do celkovej hodnoty iba odpor jednej zachytávacej tyče.

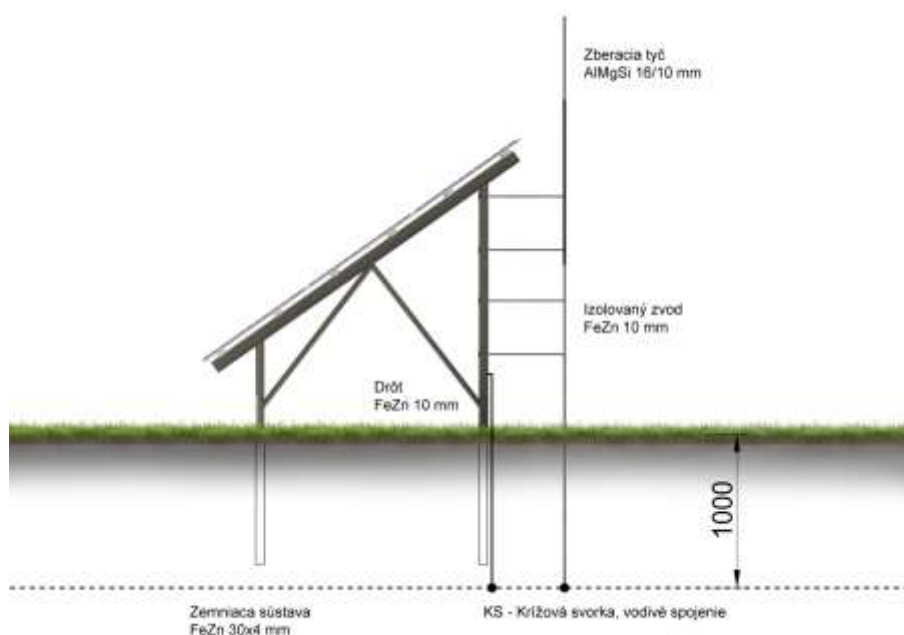


Obr. 7.13: Konštrukčné prevedenie zachytávacieho systému a zvodu

7.1.3 Návrh uzemňovacej sústavy pre fotovoltaické pole

Na to aby bol bleskový prúd účinne zvedený do zeme, je potrebné vyhotoviť kvalitnú uzemňovaciu sústavu. Dobre navrhnutá sústava má kľúčový význam nielen pre vonkajšiu ochranu, ale je zohľadňovaná aj pri návrhu vnútornej ochrany. Vyplyva to z faktu, že bleskový prúd si volí cestu najmenšieho odporu. Pomocou nej sa tak dosiahne zníženie zavlečenia bleskového prúdu do inštalácie. Uzemňovacia sústava musí následne spĺňať aj druhú časť „štafety“ a to dobré rozloženie prúdu v zemi. Normou ČSN EN 62305 je stanovená maximálna hodnota odporu $10\ \Omega$, ktorú musí vyhotovená uzemňovacia sústava spĺňať. Avšak platí, čím menšia hodnota odporu sústavy, tým lepšie.

Pre FVE sa osvedčilo použitie mrežovej sústavy s šírkou ok v metroch 20×20 alebo 40×40 . Takto navrhnutá uzemňovacia sústava dosahuje dobré parametre. Pre náš prípad však bolo volené uzemnenie súbežne s každým radom panelov, ktorých vzdialenosti medzi sebou sú 8,8 m a k priečnemu prepojeniu dochádza každých 20 m (viď. obr. 21). Veľkosť ok uzemňovacej mrežovej sústavy tak činí $8,8 \times 20$ m. Výhodou takéhoto prevedenia je jednoduchosť v spojení so zvodom a ekvipotenciálnym spojením kovovej nosnej konštrukcie. Uzemnenie bude realizované v nezamrzajúcej hĺbke zeme 1 m, použitím pásového vodiča FeZn o rozmeroch 30×4 mm. Spojenie ok mrežovej sústavy, ako aj zvodu a uzemnenia nosnej konštrukcie, bude prostredníctvom krížových svoriek. Tie budú v zemi opatrené proti korózií protikoróznou páskou. Výhodou vodivého prepojenia nosnej konštrukcie s uzemňovacou sústavou je docielenie celkového veľmi nízkeho odporu. Hodnoty ktoré sa v praxi takýmto prevedením dosiahnu, sa pohybujú okolo $1\ \Omega$.



Obr. 7.14: Návrh uzemnenia zvodu a kovovej nosnej konštrukcie

7.2 NÁVRH VONKAJŠEJ OCHRANY TRANSFORMAČNEJ STANICE VN/NN

Pre návrh transformačnej stanice, pretože mi nie sú známe bližšie údaje o objektoch a ich rozmiestnení v rámci FVE, som postupoval na základe vlastnej voľby. Pre transformačnú stanicu, ako aj technické miestnosti boli zvolené vlastné rozmery a materiál ich vyhotovenia.

Rozmery transformačnej stanice boli navrhnuté $7000 \times 2600 \times 2450$ mm, v ktorej je možné umiestniť dva olejové transformátory o výkone 600 kVA, alebo jeden o výkone 1250 kVA. Materiál vyhotovenia kioskovej stanice pozostáva zo železobetónu. Podlaha a vonkajšie steny tvoria jeden celok, ktorý vznikne výrobným postupom tzv. zvonovým liatím betónu a armovacia konštrukcia je nepreerušene vedená okolo všetkých hrán. Stropný panel tvorí monolitický prefabrikát z betónu, ktorý je nasadený na mieste pomocou žeriavu. Všetky kovové súčasti trafostanice sú vzájomne spojené s armovaním a spoločný vývod do uzemnenia je realizovaný na dvoch protiľahlých stranách budovy.

7.2.1 Návrh zachytávacej sústavy transformačnej stanice vn/nn

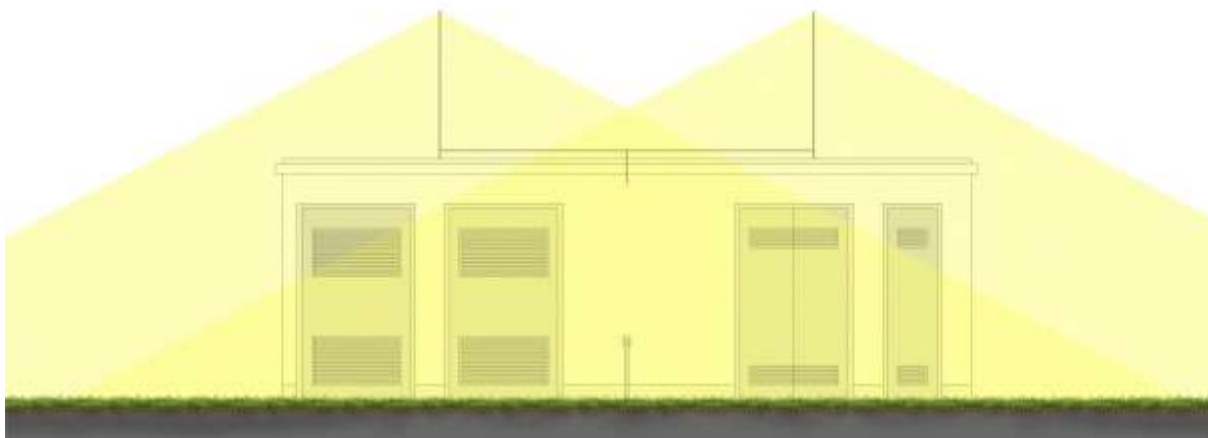
Samotný návrh zachytávacieho zariadenia bol uskutočnený v dvoch krokoch použitím metódy ochranného uhla a valiacej sa gule. K tomuto účelu sa použil program Rhinoceros.

7.2.1.1 Návrh zachytávacej sústavy transformačnej stanice vn/nn metódou ochranného uhla

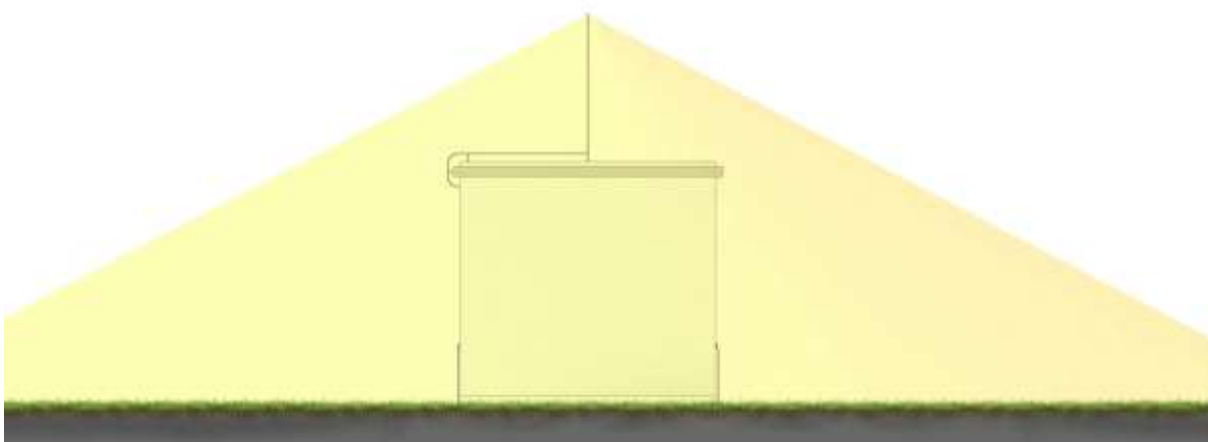
Pre návrh sústavy vzhľadom na vodorovnú strechu malej plochy je najideálnejším riešením použitie zachytávacích tyčí. Vychádzalo sa z predstavy spoľahlivého a ekonomického návrhu. Pre vytvorenie ochrannej hladiny je možné uvažovať jednu tyč dlhších rozmerov, umiestnenú v strede budovy, alebo použitím viacerých kratších tyčí po stranách budovy. V prvom prípade by dĺžka tyče, potrebná pre zabezpečenie ochrany, vychádzala natoľko vysoká, že vzhľadom na jej stabilitu by nezaručovala spoľahlivé riešenie. Preto bolo pristúpené k druhej variante postranného rozmiestnenia viacerých kratších tyčí, s ohľadom na minimalizáciu ich počtu. Najmenšia veľkosť zachytávacích tyčí v ponuke firmy DEHN + SOHNE je 1 m. Ochranný uhol odpovedajúci výške, v akej sa tyč nachádza, bol vypočítaný pomocou programu rovnako ako v prípade fotovoltických panelov (viď. obr. 7.5). Rozmiestnením dvoch tyčí po streche však s ich ochranným uhlom nedošlo k vytvoreniu potrebného tienenia. Následne bola overovaná väčšia dĺžka tyčí, pretože z ekonomického hľadiska je to výhodnejšie ako použitie ich väčšieho počtu. Druhým rozmerom v ponuke firmy je dĺžka tyče 1,5 m. Týmto rozmerom bolo nakoniec vhodným rozmiestnením dosiahnuté účelné chránenie objektu trafostanice. Výške, ktorú zachytávacia tyč dosahuje, odpovedá ochranný uhol veľkosti $62,5^\circ$.

Materiál, z ktorého sú tyče vyrobené o priemere 16 mm, je AlMgSi. Tyče bolo navzájom potrebné prepojiť, k čomu sa použil oceľový drôt hrubý 10 mm. Ich uchytenie na streche budovy je pomocou závitú M16.

Navrhnutá zachytávacia sústava teda odpovedá metóde ochranného uhla. Je potrebné ju ešte ale overiť metódou valiacej sa gule. Na nasledujúcich obrázkoch je zobrazená ochranná hladina uhla transformačnej stanice.



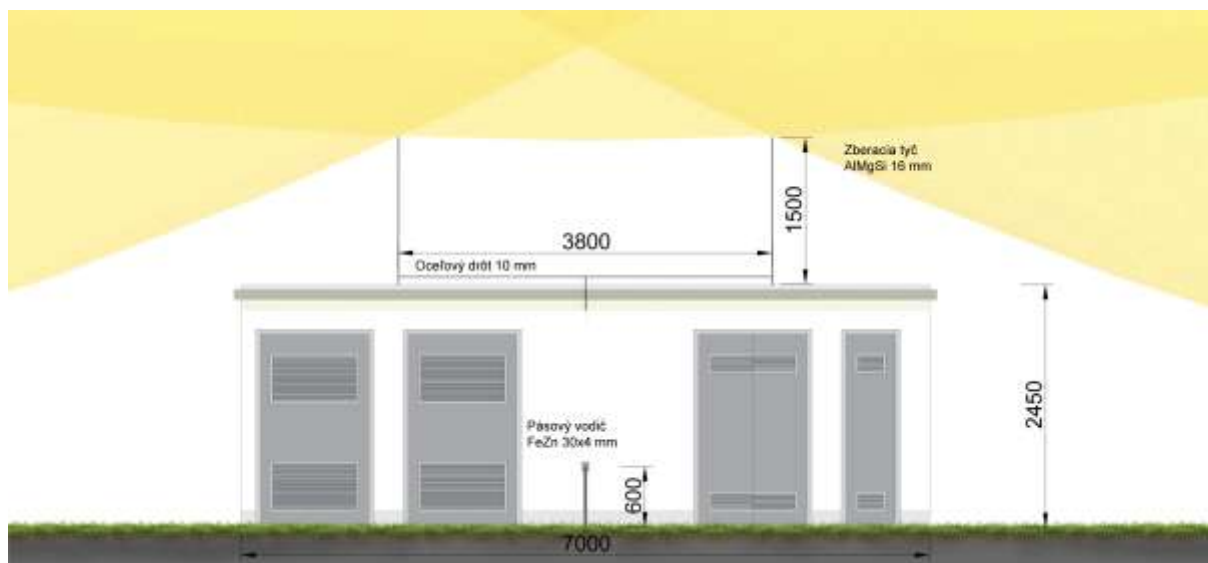
Obr. 7.15: Metóda ochranného uhla – predný pohľad na transformačnú stanicu vn/nn



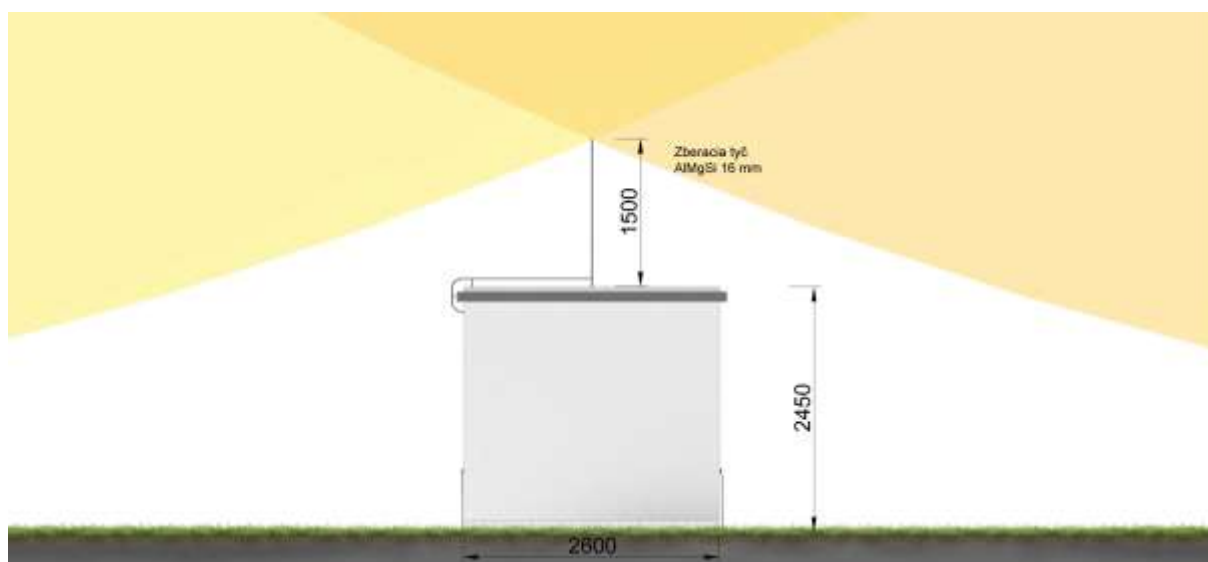
Obr. 7.16: Metóda ochranného uhla – bočný pohľad na transformačnú stanicu vn/nn

7.2.1.2 Návrh zachytávacej sústavy transformačnej stanice vn/nn metódou valiacej sa gule

Sústava dvoch tyčí navzájom spojených vodičom je pomocou tejto metódy podrobená skúške navrhnutého rozmiestnenia. Pri nej bola zo všetkých strán na transformačnú stanicu valená guľa priemeru 45 m. Pri metóde bola budova stanice uvažovaná ako samostatne stojaca, bez prítomnosti technických miestností alebo konštrukcií fotovoltaického poľa, čo prezentuje najlepšiu skúšku. Nasledovné obrázky zobrazujú overenie zachytávacej sústavy.



Obr. 7.17: Metóda valiacej sa gule – predný pohľad na transformačnú stanicu vn/nn



Obr. 7.18: Metóda valiacej sa gule – bočný pohľad na transformačnú stanicu vn/nn

Z obrázkov je vidieť, že nenastal prípad dotyku gule s inou časťou objektu, ako so zachytávacou sústavou. Návrh a rozmiestnenie sústavy teda vyhovuje aj metóde valiacej sa gule.

7.2.2 Návrh zvodu transformačnej stanice vn/nn

Norma ČSN EN 62305 odporúča v prípade objektu, v ktorom je použitá armovacia sústava, využiť túto sústavu v rámci zvodu. Dosiahne sa tým lepšieho tienenia vnútorných zariadení a tiež zníženie nákladov na realizáciu zvodu. Ten začína v kolmom napojení drôtu v mieste stredu spojovacieho drôtu medzi zachytávacími tyčami. Jeho napojenie je pomocou svorky. Zvod následne pokračuje pod úroveň strechy a v tomto mieste je spojený s armovacou konštrukciou. Zvod je na strechu upevnený v dvoch miestach pomocou podpier. Ich použitie však v tomto prípade nemusí byť nutné vzhľadom na krátku vzdialenosť dráhy drôtu a nehorľavý materiál strechy. Zvod prechádza do uzemňovacej sústavy dvomi vyvedeniami z armovacej konštrukcie, ktoré sú súčasťou budovy. Nachádzajú sa vo výške 60 cm nad zemou na dvoch miestach protiľahlých strán. Spojenie je realizované pásovým vodičom FeZn 30×4 mm. Zvod je opatrený protikoróznym náterom v dĺžke 30 cm nad a pod úrovňou zeme. Jeho prevedenie je znázornené na obr. 7.15 až 7.18.

7.2.3 Návrh uzemňovacej sústavy transformačnej stanice vn/nn

Uzemňovacia sústava bola navrhnutá ako obvodová typu B. Pre uzemnenie bol použitý opäť pásový vodič 30×4 mm, ako v prípade uzemnenia fotovoltaických panelov. Hĺbka uloženia v zemi je taktiež 1 m. Obvodový vodič je vo vzdialenosti 1 m od obvodového múra. Uzemňovacia sústava trafostanice pre dosiahnutie lepších parametrov bude spojená s uzemňovacou sústavou fotovoltaických panelov. Takéto prepojenie vytvára jednotnú uzemňovaciu sústavu FVE s ešte lepšími vlastnosťami. Pre uzemňovaciu sústavu trafostanice tak odpadá nutnosť kontroly dodržania jej celkovej dĺžky alebo odporu. Jednotlivé spojenia v zemi budú uskutočnené pomocou krížových svoriek ošetrených protikoróznou páskou. Uzemňovacia sústava je znázornená na obr. 21.

7.3 NÁVRH VONKAJŠEJ OCHRANY TECHNICKÝCH MIESTNOSTÍ

V rámci FVE sú rozmiestnené tri technické miestnosti pozdĺž jednej strany fotovoltaického poľa. V každej miestnosti sú umiestnené dva meniče s potrebným vybavením. Ako objekt, v ktorom sa nachádzajú citlivé zariadenia, je ho potrebné opäť doplniť o účinnú vonkajšiu ochranu pred bleskom.

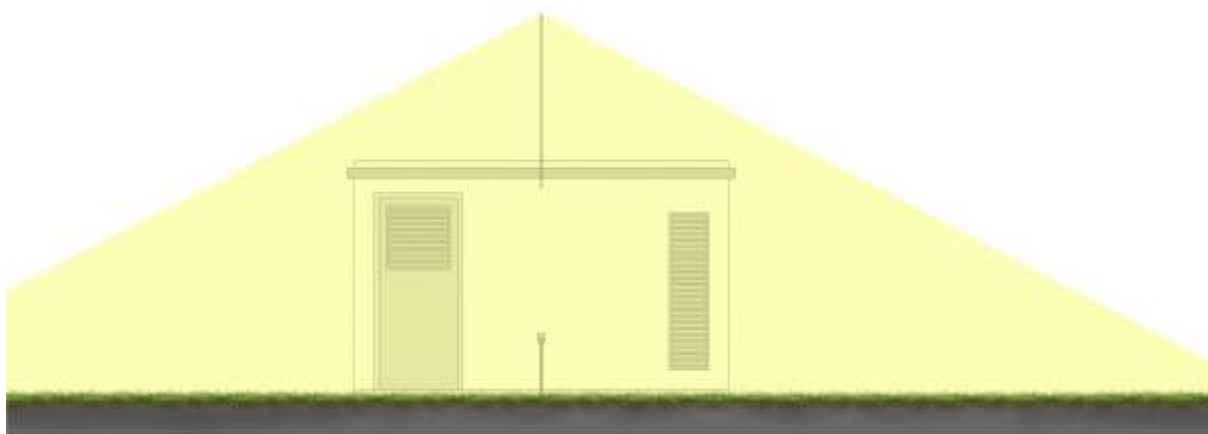
Stavba všetkých troch miestností je navrhnutá zo železobetónu s rozmermi $3800 \times 2600 \times 2450$ mm. Jej prevedenie je obdobné ako v prípade transformačnej stanice vn/nn. Na základe toho, že sa technické miestnosti medzi sebou nijak nelíšia, bude postačovať návrh vonkajšej ochrany iba pre jednu z nich.

7.3.1 Návrh zachytávacej sústavy technickej miestnosti

Pre návrh vhodnej zachytávacej sústavy je potrebné použiť opäť metódy ochranného uhla a valiacej sa gule.

7.3.1.1 Návrh zachytávacej sústavy technickej miestnosti metódou ochranného uhla

Zachytávacia sústava bola volená obdobne ako v prípade trafostanice. Cieľom teda bolo použiť pre jej návrh minimum bleskozvodárskeho materiálu, pri dodržaní spoľahlivosti ochranného systému. Počiatočný zámer bol realizovať sústavu vzhľadom na menšie rozmery strechy pomocou jednej zachytávacej tyče a s čo najmenšou výrobnou dĺžkou. V prvom rade tak bola preverená dĺžka 1 m. Výške tyče umiestnenej v strede strechy bol vypočítaný jej ochranný uhol $64,38^\circ$. Následne však bolo nutné voliť väčší rozmer, pretože vytvorený ochranný priestor nevyhovoval. Pre dĺžku tyče 1,5 m a jej celkovej výške nad zemou odpovedá ochranný uhol $62,53^\circ$. Uhol je rovnaký ako v prípade transformačnej stanice, pretože rozmery budov sa líšia iba svojou dĺžkou. V tomto prípade bol dosiahnutý ochranný priestor, cez ktorý nevytŕčala žiadna časť technickej miestnosti. To znamená, že tyč dlhá 1,5 m nachádzajúca uprostred strechy vyhovuje metóde ochranného uhla. Jej hrúbka je 16 mm a bude upevnená pomocou závitú. Na nasledujúcom obrázku je v znázornení metóda z prednej strany budovy. Bočná situácia je súhlasná s prípadom transformačnej stanice, viď. obr. 7.16.



Obr. 7.19: Metóda ochranného uhla – predný pohľad na technickú miestnosť

7.3.1.2 Návrh zachytávacej sústavy technickej miestnosti metódou valiacej sa gule

V tomto prípade je metódou skontrolovaný iba bočný náraz gule do objektu. Žiadne iné kritické miesto, ako napríklad prepád valiacej gule medzi zachytávacím zariadením, totiž nemôže nastať. Pohľad z boku na technickú miestnosť je totožný s obr. 7.18.



Obr. 7.20: Metóda valiacej sa gule – predný pohľad na technickú miestnosť

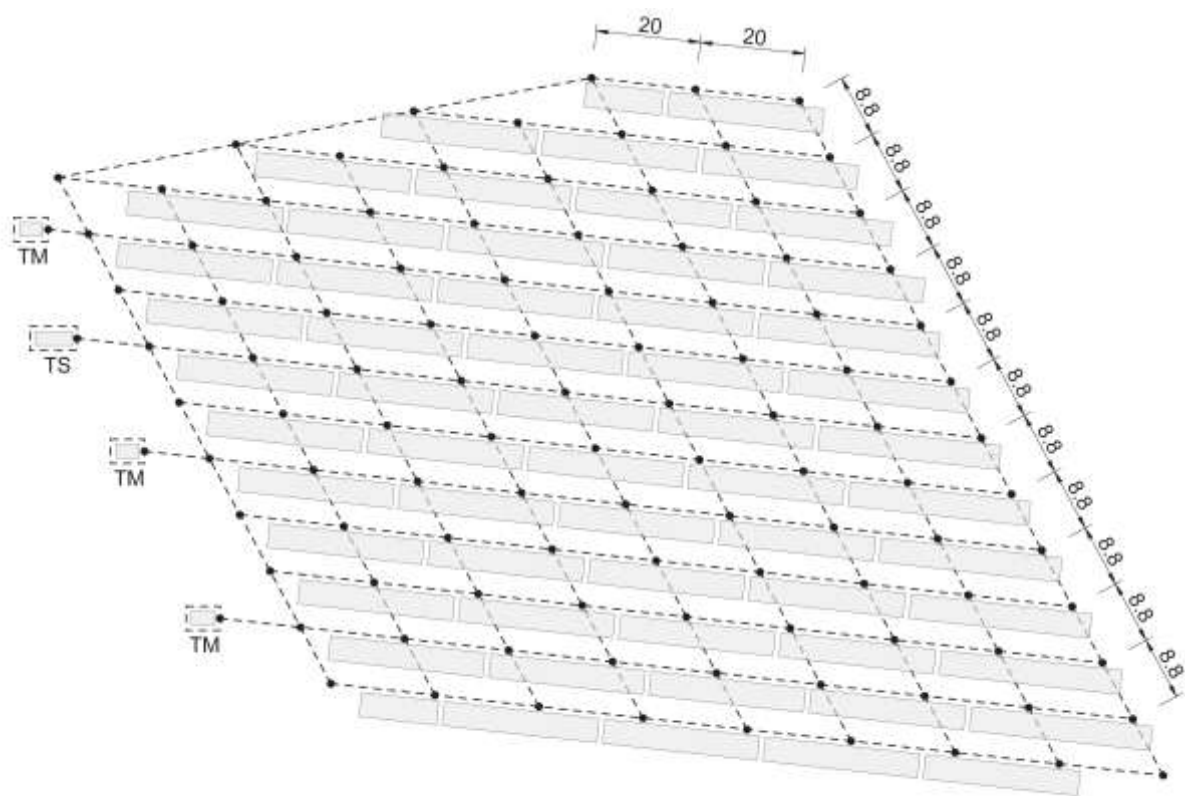
7.3.2 Návrh zvodu technickej miestnosti

Návrh je zhodný s návrhom zvodu transformačnej stanice vn/nn, vid'. kapitola 7.2.2.

7.3.3 Návrh uzemňovacej sústavy technickej miestnosti

Návrh je zhodný s návrhom uzemňovacej sústavy transformačnej stanice vn/nn, vid'. kapitola 7.2.3.

Jednotnú uzemňovaciu sústavu FVE tak budú tvoriť samostatné sústavy troch technických miestností, transformačnej stanice a mrežová sústava fotovoltaiického poľa. Ich vzájomné prepojenie a pozícia je zakreslená v nasledujúcom obrázku.

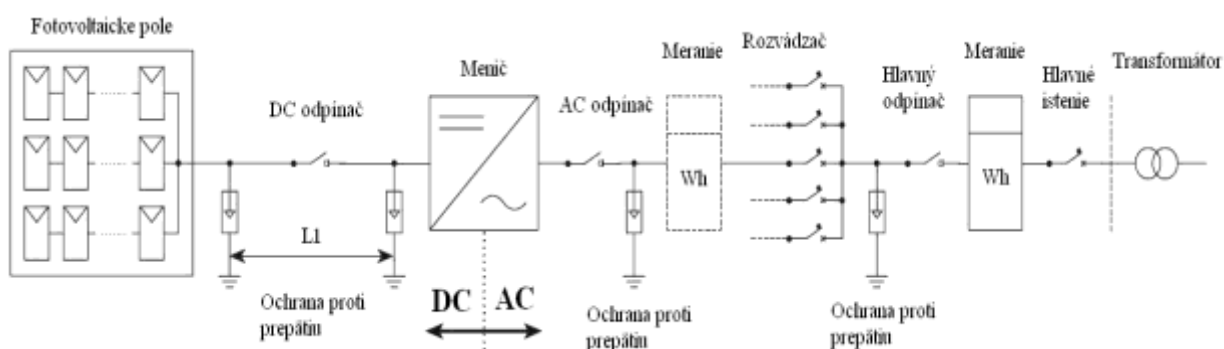


Obr. 7.21: Uzemňovacia sústava FVE

8 NÁVRH VNÚTORNEJ OCHRANY PROTI BLESKU FVE

Z hľadiska ochrany zariadení v rámci stavby je nevyhnutné doplniť vonkajšiu ochranu o vnútornú. Nutnosť ochrany fotovoltaiických zariadení vzniká od výkonu nad 10 kW. Obzvlášť pri veľkých fotovoltaiických aplikáciách, rozprestierajúcich sa na rozsiahlej ploche a vzhľadom na ich hodnotu rádovo stoviek miliónov, sú požiadavky na koncepciu ochrany kladené aj od poisťovní. Investor je tak nútený chrániť všetky dôležité zariadenia.

Nebezpečné prepätia vznikajúce indukčnými a kapacitnými väzbami sú zapríčinené priamymi aj vzdialenými bleskovými výbojmi a tiež spínacími prepätiami zo siete NN. Prepäťovú ochranu je preto potrebné uvažovať ako od strany slnečného generátora, tak od pripojenej siete. Pre lepšiu predstavu je vhodné poznať schému FVE.



Obr. 8.1: Obecná schéma FV zdroja pracujúceho paralelne s distribučnou sieťou [15]

Popis obecnej schémy FVE:

Generátorom elektrickej energie sú fotovoltaiické panely, ktoré sú radené do sériovo-paralelných vetiev. Na spojenie vetiev (sériovo zapojené panely, string) do jedného kladného a záporného pólu slúžia tzv. prepojovacie skrine umiestnené v blízkosti panelov. Ich obsahom môžu byť meracie zariadenia, poistky a prepäťové ochrany. Poistky slúžia na ochranu proti príliš vysokému prúdu v každej vetve. Obzvlášť pri počte paralelných vetiev väčšom ako 3, hrozí poškodenie panelu od spätného prúdu pri skrute. Umiestnenie prepäťovej ochrany sa odvíja od dĺžky vedenia medzi panelom a meničom. Pri vzdialenostiach väčších ako 10 m, je dobré zaradiť ochrany pri paneloch a tiež na vstupe do meniča. Ak je vzdialenosť menšia, používa sa iba jedna prepäťová ochrana. Na striedavom výstupe z meniča je potrebné zaradiť opäť prepäťovú ochranu. Odpínač na DC a AC strane meniča, slúži v prípade údržby k jeho odpojeniu. Následne je možný výskyt miestneho merania vyrobenej elektrickej energie, ktoré sa pripája cez istiaci prístroj k rozvádzaču. V poradí štvrtá prepäťová ochrana slúži k ochrane rozvádzača a následného elektrického rozvodu zo strany pripojenia k distribučnej sieti. Táto ochrana je dôležitá, vzhľadom na časté ohrozenie z distribučnej siete. Meranie dodanej a spotrebovanej energie, alebo len dodanej energie (v závislosti na miestnej spotrebe), predchádza hlavný odpínač. Na ochranu rozvadzača, odpínača a vedenia smerom k distribučnému rozvodu pred preťažením a skratom, slúži hlavný istiaci prístroj.

8.1 NÁVRH PREPÄŤOVEJ OCHRANY V JEDNOSMERNEJ ČASTI ROZVODU

Ako už bolo spomenuté, ak je vzdialenosť medzi generátorom a meničom väčšia ako 10 m, je potrebné použiť dve prepäťové ochrany na DC strane. V našom prípade je táto vzdialenosť presiahnutá. Jednosmerná ochrana je preto umiestnená v prepojovacej skrini nachádzajúcej sa priamo na nosnej konštrukcii fotovoltických panelov a v technickej miestnosti pred vstupom do meniča. Účinná ochrana je nutná z hľadiska životnosti fotovoltických panelov a citlivej elektroniky meničov.

Vzhľadom k tomu, že vonkajšia ochrana je navrhnutá ako oddialený bleskozvod s dodržanou dostatočnou vzdialenosťou s, môžu vzniknúť škody spôsobené iba indukovaným prepätím (rázová vlna tvaru 8/20 μ s). Z tohto dôvodu pre účinne navrhnutú ochranu postačí SPD typu 2 (zvodič prepätia).

Dôležitý z hľadiska veľkej finančnej investície, akú predstavuje FVE, je výber prepäťovej ochrany spomedzi osvedčených značiek výrobcov. Najlepšie referencie na trhu dosahuje firma DEHN + SOHNE. V ich ponuke sa nachádzajú prepäťové ochrany špecializované priamo na fotovoltiku. Podľa predpisov je považovaná ako účinná koordinácia SPD iba tá, ktorá pozostáva z jednotlivých členov rovnakého výrobcu. Ďalšie prepäťové ochrany budú preto navrhované v rámci spomenutej firmy.

8.1.1 Návrh prepäťovej ochrany v blízkosti panelov

Pre voľbu vhodného typu ochrany je potrebné poznať vstupné a výstupné parametre prepojovacej skrine, v ktorej má byť umiestnená ochrana. V rámci fotovoltického systému je použitých 24 skríň.

Vstupné údaje	
Počet vstupov DC (vetiev)	16
Max. vstupné napätie	1000V DC
Max. vstupný prúd na 1 vstup	16A DC
Max. prierez vodiča	16mm ²
Výstupné údaje	
Max. prúd	256A DC
Max. prierez vodiča	240mm ²

Tab. 8-1: Vstupné a výstupné údaje prepojovacej skrine

Maximálne vstupné napätie predstavuje hodnotu fotovoltického systému v stave naprázdno, ktoré môže byť generované počas zimného dňa pri maximálnom slnečnom svite. Táto hodnota je významná pri voľbe prevádzkového napätia prepäťovej ochrany. Tá musí byť väčšia ako 1000 V. Význam ochrany je iba za účelom chránenia pred indukovaným prepätím.

Na základe daných veličín a študovania problematiky sa javí najvhodnejšie použiť prepäťovú ochranu DEHNguard DG M YPV SCI 1200 FM. Ochrana je typu 2 a so svojou

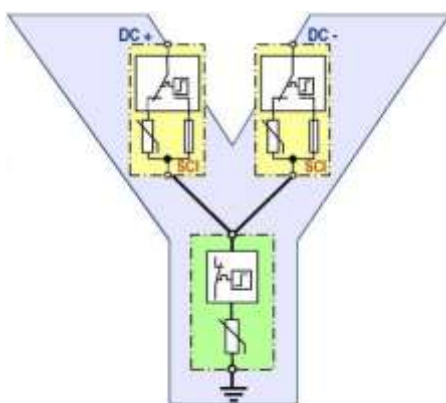
jednoduchosťou predstavuje vysoko bezpečnú ochranu fotovoltaiických aplikácií do 1200V. Jej veľkou výhodou je bezpečné rozpojenie jednosmerného systému v prípade preťaženia zvodíča cez bypass premiestňujúci varistor. Jednosmerný prúd je tak vedený veľmi nízkou poistkou, ktorá slúži ako istenie varistora. Prevedením kombinácie vypínacieho a skratového zariadenia sa dosiahne zamedzeniu vzniku požiaru. Stav ochrany je signalizovaný signalizačným poľom (zelená alebo červená farba) a signalizácia je možná pomocou kontaktu aj na diaľku.



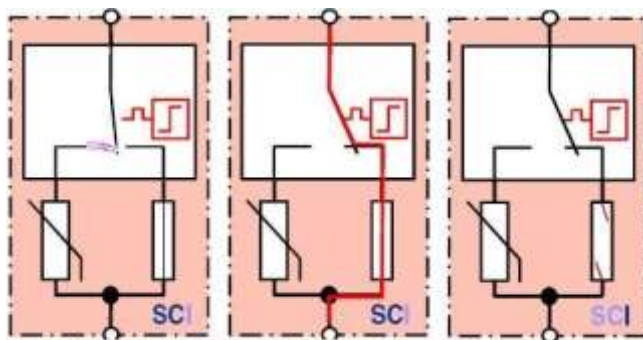
Obr. 8.2: Zvodič prepätia DEHNgard DG M YPV SCI 1200 FM [16]

Prepät'ová ochrana svojim prevádzkovým napätím do 1200 V, ochrannou hladinou do 4,5 kV a svojou vrcholovou hodnotou impulzného prúdu 25 kA vyhovuje navrhovanému účelu ochrany v plánovanom mieste inštalácie. Zóna ochrany v priestoroch fotovoltaiických panelov je LPZ 0_B.

Ako je vidieť z obr. 8.1, ochrana sa skladá z troch modulov, pričom dva z nich sú súhlasné. Zapojenie modulov je prevedené v tzv. tvare „Y“, odolného voči chybnjej montáži (obr. 8.3).



Obr. 8.3: Znážornenie zvodiča prepätia DEHNgard DG M YPV SCI 1200 FM v zapojení „Y“ [17]



Obr. 8.4: Princíp zhášania v 3 krokoch zvodíča prepätia DEHNgard Typ DG M YPV SCI 1200 FM v zapojení Y [17]

Predistenie SPD

Zvodíč prepätia obsahuje integrovanú poistku, znázornenú na obr. 8.2 a obr. 8.3, vďaka ktorej nie je potrebné jeho predistenie.

8.1.2 Návrh prepäťovej ochrany na vstupe do meniča

Vo FVE je projektovaných 6 meničov umiestených v celkovo 3 technických miestnostiach. Parametre meničov sú uvedené v nasledovnej tabuľke.

Vstupné údaje	
Vstupný výkon	220kWp
Rozsah napätia MPP	450 - 830V DC
Max. vstupné napätie	1000V DC
Max. vstupný prúd	467A DC
Výstupné údaje	
Výstupný výkon	200kW
Menovité napätie	3×400A,3+PEN,400V,TN-C
Menovitý prúd	3×304A
Menovitá frekvencia	50Hz
Účinník $\cos \varphi$	1

Tab. 8-2: Vstupné a výstupné údaje meničov vo FVE

Každé vstupujúce metalické vedenie z prepojovacích skríň fotovoltaických panelov (24 DC vedení), je potrebné na vstupe meniča opatriť SPD typu 2. Maximálne vstupné napätie je totožné ako v predchádzajúcom prípade. Ako zvodíč prepätia je preto zvolený opäť DEHNgard DG M YPV SCI 1200 FM.

8.2 NÁVRH PREPÄŤOVEJ OCHRANY V STRIEDAVEJ ČASTI ROZVODU

Na strane od distribučnej siete je potrebné inštalovať prepäťové ochrany v hlavnom rozvádzači nachádzajúcom sa v transformačnej stanici a v technickej miestnosti na AC výstupe z meniča. Zariadenia je treba chrániť pred rázovou vlnou 10/35 μ s, zvodičmi bleskového prúdu. Tie vytvárajú vo vnútri budovy zónu ochrany LPZ 1.

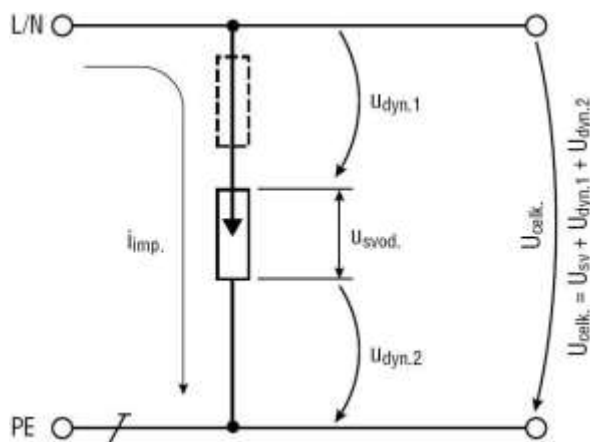
8.2.1 Návrh prepäťovej ochrany v transformačnej stanici

Ochrana je umiestnená v hlavnom NN rozvádzači RH v transformačnej stanici. Ako prepäťová ochrana bol zvolený kombinovaný zvodič prepätia (typ 1 + 2) DEHNventil DV M TNC 255 FM. Predstavuje unikátnu zapúzdrenú ochranu realizovanú v iskriskovom zvodiči, zloženú z dvoch výbojových dráh. Je schopný zvieŕť bleskový prúd až 25 kA na jeden pól pre rázovú vlnu 10/35 μ s a zabezpečiť ochrannú úroveň do 1,5 kV. Vytvára ochrannú zónu trafostanice LPZ 1.



Obr. 8.5: Kombinovaný zvodič prepätia DEHNventil DV M TNC 255 FM [16]

Zapojenie ochrany je možné dvomi spôsobmi, a to v tvare „T“ alebo „V“. Vzhľadom na vyššiu hodnotu predradného istenia v prípade „T“, bolo zvolené toto zapojenie. Jedná sa o paralelné zapojenie, kedy prúd neprechádza obidvomi svorkami, ale iba L_1 , L_2 , L_3 . Do ďalších častí inštalácie sa prenášajú úbytky napätí na zvodiči a pripojovacích vodičoch. Z dôvodu obmedzenia možného vznikajúceho rušenia, by mal byť súčet dĺžok pripojovacích vodičov do 0,5 m.



Obr. 8.6: Znázornenie zapojenia „T“ [16]

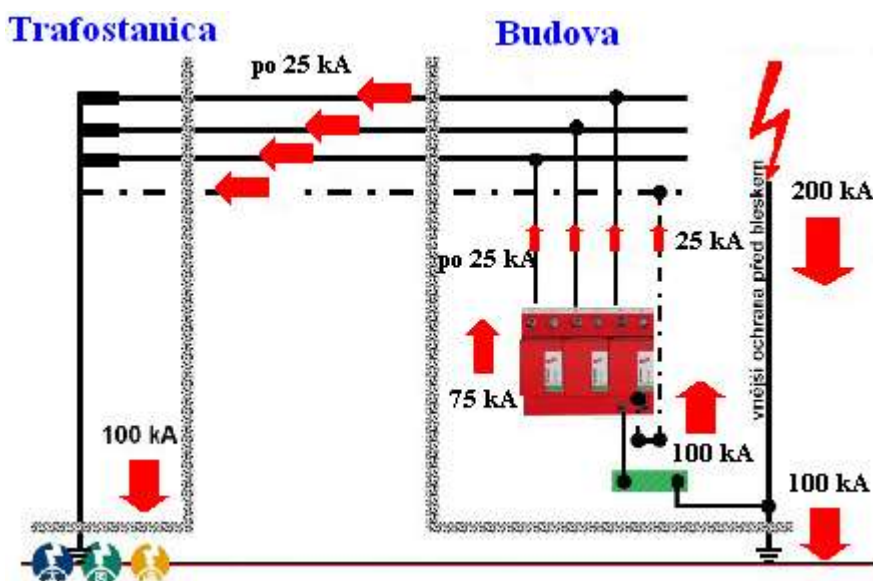
Dôležitým parametrom pre zvodiče je impulzný prúd I_{imp} . Predstavuje vrcholovú hodnotu skúšobnej vlny 10/35 μ s, ktorú musia zniesť viackrát bez poškodenia. Stav výdržnosti zvodiča je signalizovaný signalizačným poľom a je možný aj na diaľku. Platí, že do inštalácie môže byť zavlečených až 50 % bleskovej energie. Podľa normy je hodnota prúdu určená preto ako polovica bleskového prúdu odpovedajúcej triede ochrany (LPS). Minimálna hodnota I_{imp} , ktorej by mal zvodič odolať, je určená podľa tabuľky:

Trieda LPS	Bleskový prúd	Prúd na vstupe do inštalácie
I	200 kA	100 kA
II	150 kA	75 kA
III/IV	100 kA	50 kA

Tab. 8-3: Rozdelenie bleskového prúdu odpovedajúce triede LPS

Kombinovaný zvodič prepätia so svojou hodnotou $I_{imp} = 75$ kA vyhovuje nielen triede LPS III pre ktorú je navrhovaný, ale aj vyššej triede LPS II.

Na nasledujúcom obrázku je v znázornení DEHNventil DV M TNC 255 FM pripojený na sieť a principiálne rozdelenie bleskového prúdu odpovedajúceho LPS I týmto zvodičom.



Obr. 8.7: Znázornenie kombinovaného zvodiča prepätia DEHNventil DV M TNC 255 FM v pripojení na sieť a v principiálnom rozdelení bleskového prúdu [12]

Predistenie SPD

Veľkosti poistiek nachádzajúcich sa pred SPD sú dôležité pre ich samotnú ochranu. V hlavnom rozvádzači NN sú obsiahnuté poistky dimenzované na 315 A. Pre svoj bezpečný stav nepotrebuje kombinovaný zvodič prepätia DEHNventil DV M TNC 255 FM v zapojení „T“ do tejto úrovne predistenia. Nutnosť predistenia by vznikala práve prekročením 315 A.

8.2.2 Návrh prepäťovej ochrany na výstupe z meniča

Výstup z meniča na AC strane je potrebné opäť opatriť SPD typu 1. Vstupy z DC strany sú na tomto mieste združené do jedného vývodu, čo výrazne ušetrí na počte použitých vodičov. Každý výstup z meniča bude opatrený obdobne ako v hlavnom rozvádzači kombinovaným vodičom prepätia DEHNventil DV M TNC 255 FM v zapojení „T“, bez potreby predistenia. Vodiče v celkovom počte 6 kusov tak predstavujú zónu ochrany LPZ 1.

8.3 NÁVRH PREPÄŤOVEJ OCHRANY MONITOROVACÍCH ZARIADENÍ FVE

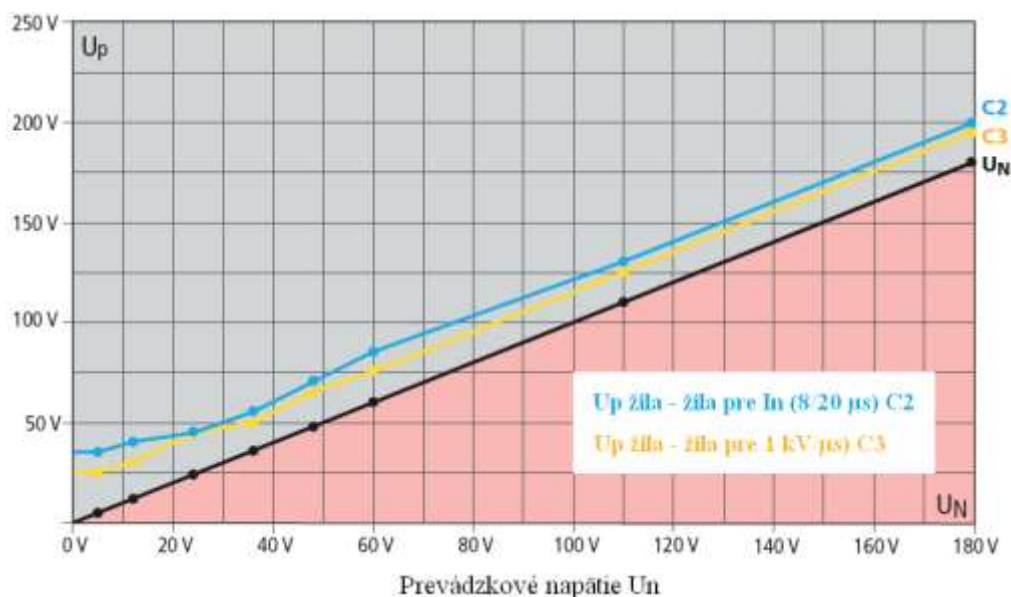
V rámci FVE sú použité zariadenia pre zber dát na základe ktorých sa vyhodnocuje stav v akom sa elektráreň práve nachádza. Zber dát je zabezpečený komunikačnou linkou RS – 485 z oblasti fotovoltaického poľa a tie sú vyhodnocované vo vzdialenom počítači prostredníctvom wifi siete. Zber prebieha v reálnom čase a prevádzkovateľ tak má k dispozícii neustály prehľad o výkone fotovoltaického systému. Dosahuje sa tak vysokej transparentnosti systému FVE.

Zariadenia pripojené na dátové rozvody musia byť chránené prepäťovými ochranami. Až potom je zaručená ich bezpečnosť prevádzky. Z ponuky firmy DEHN + SOHNE pre informačné a technické siete bol zvolený k tomuto účelu produkt BLITZDUCTOR XTU. Jedná sa o kombinovaný vodič bleskových prúdov a prepätí, ktorý nemá špecifikované menovité prevádzkové napätie. Jeho použitie je uplatniteľné vo všetkých obvodoch s napätím od 0 – 180 V DC a 0 – 127 V AC. Inovatívna technológia actiVsense spoločnosti DEHN + SOHNE je schopná rozpoznáť prevádzkové napätie chráneného obvodu alebo zariadenia a zabezpečiť jeho ochranu. Vodič je tvorený dvoma časťami a to základný diel BXT BAS a ochranný modul, ktorý bol zvolený štvorpólový BXT ML4 BD.



Obr. 8.8: Kombinovaný vodič prepätia BLITZDUCTOR XTU [16]

Kombinovaný zvodič je schopný zviest' bleskové prúdy o veľkosti 10 kA vlny 10/35 μ s. Zabezpečuje nízku ochrannú hladinu U_p , ktorá je vhodná aj pre koncové zariadenia. Ochranná hladina je závislá od prevádzkového napätia, vid obr. 8 -10.



Obr. 8.9: Ochranná hladina zvodiča BLITZDUCTOR XTU [16]

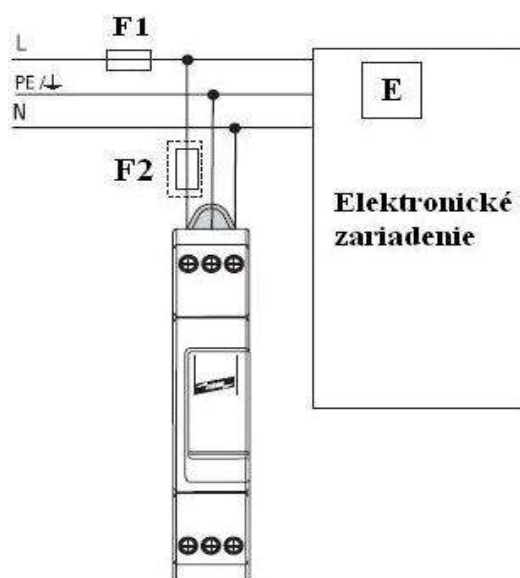
Medzi výhody zvodiča patrí ľahká výmena modulov, pričom nedochádza k prerušeniu prevádzkového signálu a integrovaná monitorovacia jednotka Life Check v každom module. Zosnímaním jednotky pomocou prístroja DEHN Record DRC LC MI je možná okamžitá kontrola funkčnosti ochrany za prevádzkového stavu.

Kombinované zvodiče je v rámci FVE potrebné nasadiť v rozvádzači technických miestností na vstupe a výstupe dátového vedenia RS – 485 meniča a tiež v rozvádzači transformačnej stanice umiestnenom pred monitorovacím zariadením.

Pretože monitorovacie zariadenie a komunikačné prvky sú z rozvádzača v transformačnej stanici napojené aj na sieť NN, vzniká ich potreba ochrany taktiež z tejto strany. Pred prepätím šíriacim sa zo siete NN vyžadujú ochranu s nízkou ochrannou hladinou pre koncové zariadenia typu 3. Tento účel spĺňa ochrana DEHNrail DR 2P 255 FM. SPD je v jednofázovom prevedení, zložená z dvojdielnej konštrukcie zo základného diela a ochranného modulu. Chrániaca funkcia je zabezpečená dvojpólovým zapojením kombinácie výkonového varistora ZnO a iskriška. Zvodič tak disponuje veľkou schopnosťou zvädzať impulzný prúd. Jeho prevedenie je v bezpečnom zapojení tvaru „Y“, odolnému proti náhodnému prepólovaniu. Stav ochrany je signalizovaný prostredníctvom signalizačného poľa alebo diaľkovým prenosom. Ochrana vytvára hranicu LPZ 2 a LPZ 3.



Obr. 8.10: Zvodič prepätia DEHNrail DR 2P 255FM [16]



Obr. 8.11: Principiálne zapojenie zvodiča prepätia DEHNrail DR 2P 255FM na sieť [16]

Predistenie SPD

- BLITZDUCTOR XTU – predstavuje samostatnú jednotku, ktorá nevyžaduje k svojej činnosti ochranu predistením.
- DEHNrail DR 2P 255 FM – zvodiču prepätia vzniká nutnosť predistenie pre vlastnú ochranu poistkou gL/gG. V prípade pripojenia do obvodu, ktorý je istený do 25 kA, nie je potrebné jeho predistenie. Vzhľadom k tomu, že mi nie sú zrejmé istiace pomery v rozvádzači, v ktorom má byť zvodič inštalovaný, nemôžem rozhodnúť o jeho potrebe predistenia.

9 VPLYV TIEŇA ZACHYTÁVACIEHO ZARIADENIA NA PREVÁDZKU FVE

Zdrojom fotovoltaiickej energie je slnečné žiarenie. V priebehu dňa a roka sa jeho dopadajúca hodnota výrazne obmieňa. S tým samozrejme súvisí výkon vyrobenej energie. Projektant tak pred realizáciou výstavby fotovoltaiických zariadení musí dopredu zvážiť miestne podmienky, aby jeho investícia vykazovala očakávanú výnosnosť. Je logické, že zhodný fotovoltaiický systém bude produkovať viac energie v oblastiach okolo rovníka, než vo vrchných pásmach pologule. Kľúčovú úlohu v predpokladanom zisku zohrávajú miestne klimatické podmienky, zemepisná šírka a sklon aplikácie. So zemepisnou šírkou sú späté charakteristické údaje ako priemerný úhrn dopadajúceho slnečného žiarenia, výška Slnka nad obzorom a dĺžka svetelného dňa. Pre správne nastavenie aplikácie fotovoltaiických panelov je dôležité zaoberať sa azimutom a eleváciou.

9.1 ANALÝZA VÝPOČTOM POHYBU SLNKA PO OBLOHE

Energia Slnka

Energia na Zem dopadá vo forme žiarenia a šíri sa prostredníctvom elektromagnetických vln. Jej zdrojom sú termojaderné procesy. Skladá sa z tepelnej a svetelnej energie. Fotovoltaiické články premieňajú dopadajúcu energiu priamo na energiu elektrickú. Účinnosť premeny sa však pohybuje zhruba medzi 14 – 17%. Výkon fotovoltaiického článku sa odráža aj od kvality dopadajúceho žiarenia. Z tohto pohľadu rozlišujeme dva druhy:

- **priame** – intenzita žiarenia sa znižuje prechodom atmosféry, kde dochádza k jeho rozptylu na molekulách plyných zložiek vzduchu, vodných kvapkách a rôznych nečistotách. Pri ideálnych podmienkach dopadne na zem žiarenie o intenzite približne 1000 W/m^2 z celkovej hodnoty okolo 1360 W/m^2 . Zvyšná časť energie sa buď odrazí, alebo dôjde k jej rozptylu.
- **rozptýlené (difúzne)** - vzniká rozptylom priameho žiarenia. Jeho priemerná celoročná hodnota pre strednú Európu sa pohybuje v rozmedzí 50 až 70 %, pričom v zimnom období môže dosahovať až 90 % z celkového dopadajúceho žiarenia.

Pohyb Zeme okolo Slnka

Trajektória, po ktorej sa Zem pohybuje v priebehu roka okolo Slnka má eliptický tvar. Zem sa točí taktiež okolo vlastnej osi. Táto osa však nie je kolmá k eliptickej dráhe, ale zvierá s ňou uhol $23,5^\circ$. To spôsobuje, že počas obehu okolo Slnka sa na Zemi vyskytujú štyri ročné obdobia. Ak prebieha na severnej pologuli astronomické leto, znamená to, že je k Slnku v najväčšom náklone. Na južnej pologuli naopak panuje zimné počasie. Maximálna výška, do akej Slnko vystúpi počas leta v Českej republike, sa pohybuje do 65° . Najnižšiu polohu dosahuje v zimnom období a to okolo 17° . Dosahovaná výška nadobúda odlišné hodnoty vzhľadom na pásmo severnej šírky.

Výška Slnka nad obzorom

Výška, v akej sa Slnko nachádza, závisí na súčasnej fáze dňa a roka v danom mieste. Na pravé poludnie dosahuje najvyššiu polohu. Výšku Slnka je možné vypočítať pomocou vzorca [18]:

$$h = \arcsin.(\sin \delta . \sin \varphi + \cos \delta . \cos \varphi . \cos \tau) \quad (9.1)$$

kde: h – výška Slnka nad obzorom [°],
 δ – solárna deklinácia [°],
 φ – zemepisná šírka (pre polohu FVE odpovedá hodnota 49,51°) [°],
 τ – hodinový uhol Slnka [°].

Solárna deklinácia

Predstavuje uhol, ktorý je zvieraný medzi vzniknutou spojnicou Slnka a miesta pozorovateľa s rovinou rovníka na poludnie. Miesto pozorovateľa odpovedá zemepisnej šírke v ktorej sa nachádza. Solárna deklinácia je závislá na ročnom období. Svoju maximálnu hodnotu dosahuje v čase letného slnovratu a to 23,5° a minimálnu – 23,5° naopak v čase zimného slnovratu. V prípade rovnodennosti je jej hodnota rovná nule. Z uvedeného vyplýva, že jej hodnota sa počas roka mení. Hodnotu pre konkrétny deň je možné stanoviť nasledovným výpočtom [18]:

$$\delta = 23,45^\circ . \sin(0,98^\circ . D + 29,7^\circ . M - 109^\circ) \quad (9.2)$$

kde: D – číslo dňa v mesiaci,
 M – číslo mesiaca v roku.

Hodinový uhol Slnka

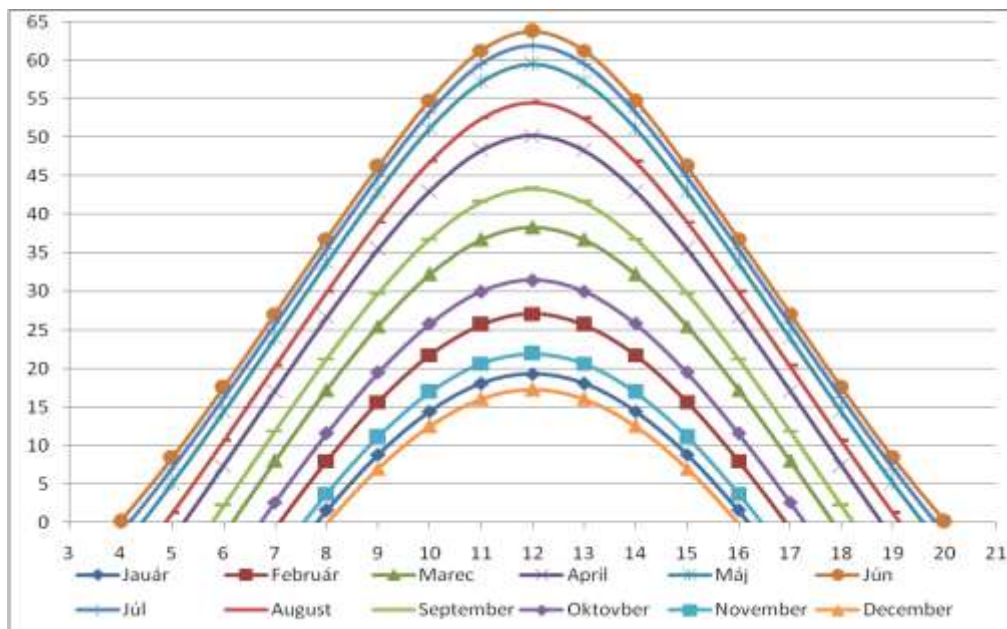
Jedná sa o časové vyjadrenie posunu Slnka v stupňoch. Jednej hodine zodpovedá uhol 15°, pretože 24 hodín predstavuje 360°. Jeho hodnota sa vzťahuje k poludniu, kedy sa rovná 0°. V dopoludňajších hodinách nadobúda záporné hodnoty a v popoludňajších hodnoty kladné.

Na základe týchto vzorcov je bola vypočítaná výška Slnka nad obzorom počas 15. dňa každého mesiaca (tab.9-1). Hodnoty vyznačené červenou farbou nemajú z nášho pohľadu žiaden význam, pretože sa Slnko nachádza pod úrovňou obzoru.

Deň	Január	Február	Marec	Apríl	Máj	Jún	Júl	August	September	Oktovber	November	December
Hodina	h [°]	h [°]	h [°]	h [°]	h [°]	h [°]	h [°]	h [°]	h [°]	h [°]	h [°]	h [°]
0	-61,67	-53,91	-42,62	-30,77	-21,47	-17,17	-19,00	-26,48	-37,63	-49,54	-59,07	-63,72
1	-59,27	-51,86	-40,92	-29,32	-20,19	-15,96	-17,76	-25,11	-36,05	-47,65	-56,81	-61,20
2	-53,05	-46,34	-36,17	-25,20	-16,49	-12,44	-14,16	-21,19	-31,58	-42,45	-50,84	-54,75
3	-44,66	-38,54	-29,15	-18,91	-10,73	-6,93	-8,55	-15,15	-24,88	-34,96	-42,65	-46,21
4	-35,28	-29,49	-20,65	-11,04	-3,39	0,17	-1,35	-7,52	-16,64	-26,12	-33,37	-36,75
5	-25,56	-19,87	-11,31	-2,13	5,10	8,44	7,02	1,21	-7,47	-16,59	-23,68	-27,02
6	-15,95	-10,16	-1,62	7,38	14,35	17,52	16,18	10,61	2,17	-6,87	-14,02	-17,45
7	-6,78	-0,74	8,03	17,10	24,00	27,09	25,78	20,32	11,87	2,66	-4,76	-8,37
8	1,60	8,01	17,23	26,64	33,70	36,81	35,50	29,94	21,23	11,60	3,75	-0,09
9	8,82	15,67	25,51	35,52	42,99	46,28	44,90	39,02	29,77	19,50	11,12	7,01
10	14,45	21,75	32,26	43,06	51,21	54,83	53,31	46,87	36,84	25,83	16,90	12,52
11	18,06	25,70	36,77	48,30	57,22	61,28	59,56	52,44	41,63	29,98	20,62	16,05
12	19,31	27,07	38,36	50,21	59,51	63,81	61,98	54,50	43,35	31,44	21,91	17,26
13	18,06	25,70	36,77	48,30	57,22	61,28	59,56	52,44	41,63	29,98	20,62	16,05
14	14,45	21,75	32,26	43,06	51,21	54,83	53,31	46,87	36,84	25,83	16,90	12,52
15	8,82	15,67	25,51	35,52	42,99	46,28	44,90	39,02	29,77	19,50	11,12	7,01
16	1,60	8,01	17,23	26,64	33,70	36,81	35,50	29,94	21,23	11,60	3,75	-0,09
17	-6,78	-0,74	8,03	17,10	24,00	27,09	25,78	20,32	11,87	2,66	-4,76	-8,37
18	-15,95	-10,16	-1,62	7,38	14,35	17,52	16,18	10,61	2,17	-6,87	-14,02	-17,45
19	-25,56	-19,87	-11,31	-2,13	5,10	8,44	7,02	1,21	-7,47	-16,59	-23,68	-27,02
20	-35,28	-29,49	-20,65	-11,04	-3,39	0,17	-1,35	-7,52	-16,64	-26,12	-33,37	-36,75
21	-44,66	-38,54	-29,15	-18,91	-10,73	-6,93	-8,55	-15,15	-24,88	-34,96	-42,65	-46,21
22	-53,05	-46,34	-36,17	-25,20	-16,49	-12,44	-14,16	-21,19	-31,58	-42,45	-50,84	-54,75
23	-59,27	-51,86	-40,92	-29,32	-20,19	-15,96	-17,76	-25,11	-36,05	-47,65	-56,81	-61,20
24	-61,67	-53,91	-42,62	-30,77	-21,47	-17,17	-19,00	-26,48	-37,63	-49,54	-59,07	-63,72

Tab. 9-1: Výška Slnka nad obzorom pre 15. deň v každom mesiaci

Na základe vypočítaných údajov bolo možné zobrazit' grafické vyhodnotenie výsledkov, ktoré slúži pre lepšiu orientáciu.



Obr. 9.1: Grafické znázornenie výšky Slnka nad obzorom pre 15. deň v každom mesiaci

Z grafu je vidieť, že Slnko kulminuje nad obzorom počas zimných mesiacov približne v 1/3 výšky, ktorú dosahuje v mesiacoch letných. Z grafu sme taktiež schopní jednoducho určiť dĺžku slnečného dňa, ktorá pre porovnanie júna s decembrom vychádza dvakrát dlhšia. Na základe týchto charakteristík a s ohľadom na podstatne väčšie zastúpenie difúzneho žiarenia v zimnom období vyplýva, že vyrobená elektrická energia bude v tomto období výrazne nižšia. K jej zníženiu bude prispievať aj výraznejší vplyv tieňa vzhľadom na nižšiu polohu Slnka. V prípade FVE tak môžeme očakávať, že si počas dňa dlhší čas budú vzájomne cloniť fotovoltaické panely. K poklesu výkonu bude prispievať aj zachytávacia sústava navrhutej ochrany proti blesku, ktorá bude vrhať dlhšie tieň.

To, akým smerom jednotlivé objekty vrhajú tieň, záleží na postavení Slnka s ohľadom na svetové strany. Jeho polohu je možné učiť vypočítaním azimutu.

Azimut Slnka

- predstavuje horizontálny uhol medzi geografickým severom a polohou, v ktorej sa Slnko práve nachádza. Veľkosť uhla sa meria v smere hodinových ručičiek. Jeho hodnota napr. pre juh odpovedá 180°. Uhol je možné vypočítať užitím nasledujúceho vzorca [18]:

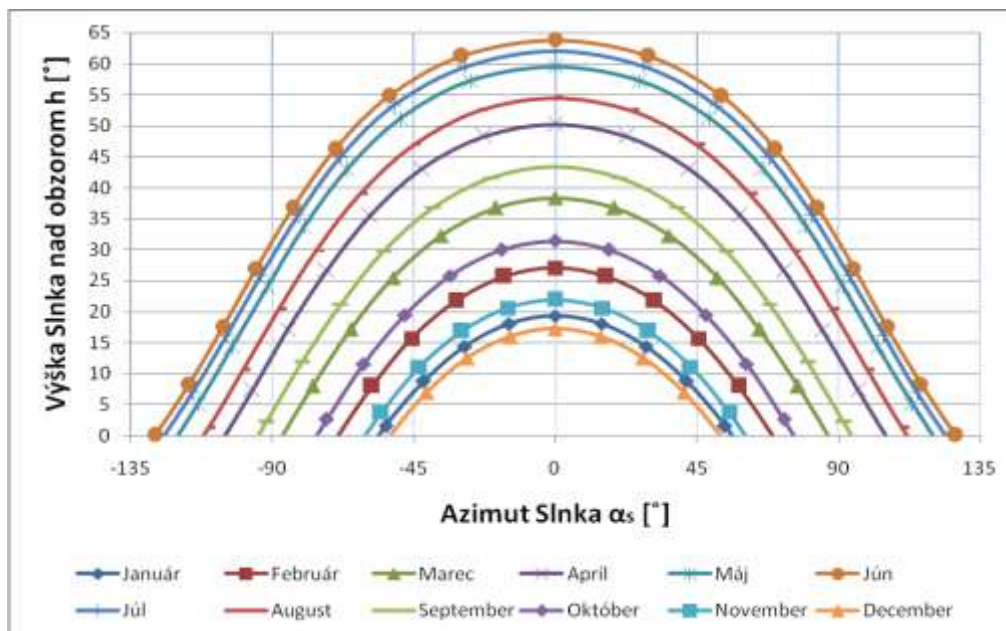
$$\alpha_s = \arcsin\left(\frac{\cos \delta}{\cos h} \cdot \sin \tau\right) \quad (9.3)$$

kde: α_s – azimut Slnka [°],
 δ – solárna deklinácia [°],
 h – výška Slnka nad obzorom [°],
 τ – hodinový uhol Slnka [°].

Pretože panely elektrárne sú orientované smerom na juh, boli vypočítané hodnoty pre lepšiu názornosť korigované o 180°. V prípade juhu je tak azimut rovný hodnote 0°. Smerom na západ azimut narastá do záporných hodnôt a kladné hodnoty nadobúda v smere východnom. Vypočítané korigované hodnoty sú uvedené v nasledujúcej tabuľke. Červenou farbou sú zvýraznené hodnoty, ktoré sa neberú do úvahy. Odpovedajú polohe Slnka nachádzajúceho sa pod obzorom.

Deň	Január	Február	Marec	Apríl	Máj	Jún	Júl	August	September	Oktovber	November	December
Hodina	$\alpha_s [^\circ]$	$\alpha_s [^\circ]$	$\alpha_s [^\circ]$	$\alpha_s [^\circ]$	$\alpha_s [^\circ]$	$\alpha_s [^\circ]$	$\alpha_s [^\circ]$	$\alpha_s [^\circ]$	$\alpha_s [^\circ]$	$\alpha_s [^\circ]$	$\alpha_s [^\circ]$	$\alpha_s [^\circ]$
0	-180,0	-180,0	-180,0	-180,0	-180,0	-180,0	-180,0	-180,0	-180,0	-180,0	-180,0	-180,0
1	-151,8	-155,9	-160,0	-163,0	-164,9	-165,7	-165,4	-163,9	-161,4	-157,7	-153,4	-150,4
2	-129,1	-135,2	-141,8	-147,0	-150,5	-152,0	-151,3	-148,6	-144,1	-138,0	-131,4	-127,2
3	-112,0	-118,4	-126,0	-132,5	-137,1	-139,1	-138,3	-134,7	-128,9	-121,6	-114,3	-110,1
4	-98,4	-104,6	-112,4	-119,6	-124,9	-127,3	-126,3	-122,1	-115,5	-107,7	-100,6	-96,7
5	-86,8	-92,5	-100,1	-107,7	-113,5	-116,3	-115,1	-110,4	-103,4	-95,5	-88,7	-85,2
6	-75,9	-81,2	-88,6	-96,3	-102,6	-105,6	-104,3	-99,2	-91,9	-84,1	-77,7	-74,4
7	-65,1	-70,0	-77,1	-84,9	-91,6	-94,9	-93,5	-87,9	-80,3	-72,7	-66,7	-63,8
8	-53,9	-58,3	-65,0	-72,7	-79,8	-83,4	-81,8	-75,9	-68,1	-60,8	-55,4	-52,7
9	-41,9	-45,6	-51,5	-58,9	-66,1	-70,0	-68,2	-62,0	-54,4	-47,8	-43,1	-40,9
10	-28,8	-31,6	-36,2	-42,4	-49,0	-52,9	-51,1	-45,2	-38,6	-33,3	-29,7	-28,1
11	-14,7	-16,2	-18,8	-22,5	-26,9	-29,6	-28,4	-24,3	-20,2	-17,2	-15,2	-14,3
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	14,7	16,2	18,8	22,5	26,9	29,6	28,4	24,3	20,2	17,2	15,2	14,3
14	28,8	31,6	36,2	42,4	49,0	52,9	51,1	45,2	38,6	33,3	29,7	28,1
15	41,9	45,6	51,5	58,9	66,1	70,0	68,2	62,0	54,4	47,8	43,1	40,9
16	53,9	58,3	65,0	72,7	79,8	83,4	81,8	75,9	68,1	60,8	55,4	52,7
17	65,1	70,0	77,1	84,9	91,6	94,9	93,5	87,9	80,3	72,7	66,7	63,8
18	75,9	81,2	88,6	96,3	102,6	105,6	104,3	99,2	91,9	84,1	77,7	74,4
19	86,8	92,5	100,1	107,7	113,5	116,3	115,1	110,4	103,4	95,5	88,7	85,2
20	98,4	104,6	112,4	119,6	124,9	127,3	126,3	122,1	115,5	107,7	100,6	96,7
21	112,0	118,4	126,0	132,5	137,1	139,1	138,3	134,7	128,9	121,6	114,3	110,1
22	129,1	135,2	141,8	147,0	150,5	152,0	151,3	148,6	144,1	138,0	131,4	127,2
23	151,8	155,9	160,0	163,0	164,9	165,7	165,4	163,9	161,4	157,7	153,4	150,4
24	180,0	180,0	180,0	180,0	180,0	180,0	180,0	180,0	180,0	180,0	180,0	180,0

Tab. 9-2: Azimut Slnka pre 15. deň v každom mesiaci



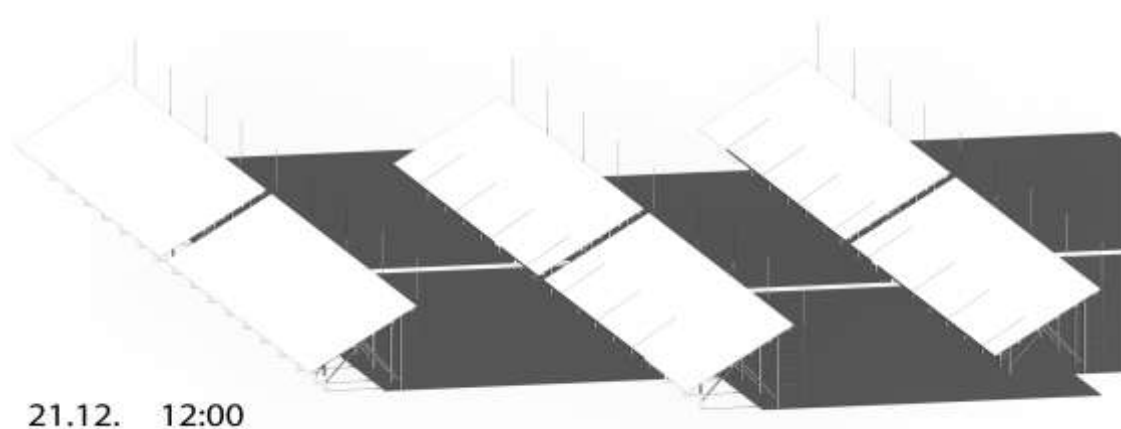
Obr. 9.2: Azimut Slnka pre 15. deň v každom mesiaci

Graf nám znázorňuje pohyb Slnka v horizontálnej línii počas dňa. Z neho je dobre badateľné aj to, prečo je práve najvýhodnejšie orientovať fotovoltaičné panely smerom na juh

a pod určitým sklonom. Lúče priameho slnečného žiarenia dopadajú na panely práve v dobe, kedy je ich intenzita počas dňa najväčšia. S tým súvisí aj výška Slnka. K vlastnému zatieneniu panelov podľa grafov by teda nemalo dochádzať v dobe vysokej dennej intenzity žiarenia. Táto skutočnosť býva zohľadnená už pri samotnom návrhu vzdialenosti medzi jednotlivými radami panelov. Navrhuje sa tak, aby v čase zimného slnovratu, kedy je Slnko najnižšie, nedochádzalo na poludnie k vlastnému tieneniu. To však neplatí pre zachytávacie sústavy proti blesku. Ich tieniaci vplyv sa dá očakávať aj počas doby, kedy si panely vzájomne netienia. O tom, aký veľký tieň a po aký čas bude od nich vrhaný na panely, závisí od ich konštrukčného vyhotovenia.

9.2 ANALÝZA POMOCOU MODELOVANIA FVE V PROGRAME RHINOCEROS

Pre lepšie znázornenie pohybu Slnka priamo nad oblasťou panelov FVE a analýzu vznikajúcich tieňov, bola táto situácia modelovaná v programe Rhinoceros. Pre analýzu bola použitá vzorka šiestich nosných konštrukcií v troch radoch, nachádzajúcich sa na okraji fotovoltaického poľa. Všetky rozmery odpovedajú vyššie zmieňovaným. Pohyb Slnka bol simulovaný v troch dňoch a to počas zimného slnovratu (21.12.), jarnej rovnodennosti (21.3.) a letného slnovratu (21.6.). Situácia v prípade jarnej rovnodennosti je totožná s dňom jesennej rovnodennosti (23.9.). Trajektória Slnka po oblohe je v každom dni rozdielna, čomu odpovedajú iné tieňe. Pretože pohyb Slnka bol zaznamenaný vo viacerých časoch jednotlivých dní, z dôvodu väčšieho počtu obrázkov uvádzam iba stav na pravé poludnie dňa 12.12. Zvyšné obrázky je možné nahliadnuť v prílohe B.

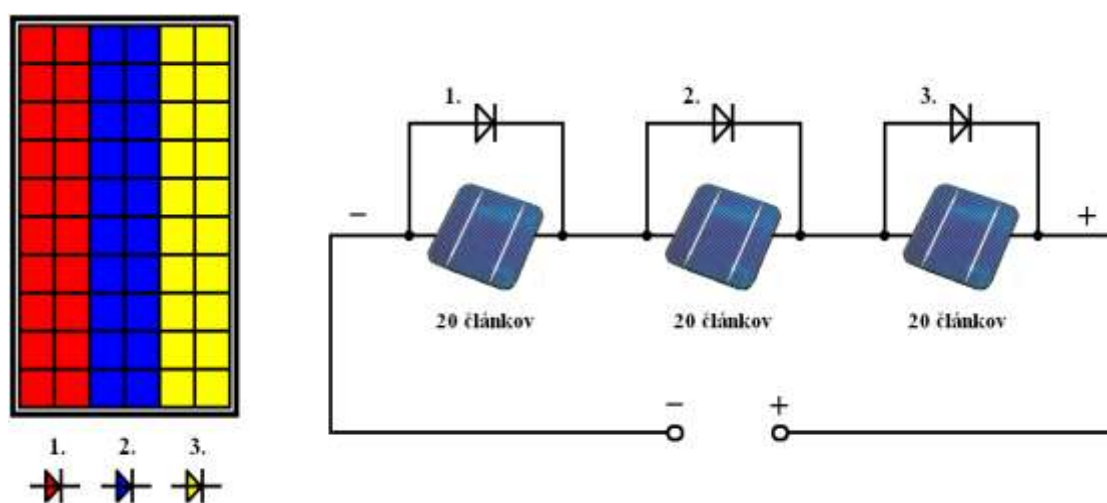


Obr. 9.3: Simulácia tieňa na vzorke panelov FVE dňa 21.12. v čase 12:00

Ako je vidieť z predošlého obrázku, k vzájomnému tieneniu panelov nedochádza. To znamená, že vzdialenosti medzi radami sú navrhnuté správne. K zatieneniu fotovoltaických článkov jednotlivých panelov dochádza iba od zachytávacích tyčí vonkajšej ochrany pred bleskom. Hrúbka tyčí nad panelmi je 10 mm prvý meter zvrchu a 16 mm zvyšného 0,5 m po okraj panela. Vzdialenosť medzi tyčami a následnou radou je 8,25 m. Treba si uvedomiť, že cieľom modelovania programom bolo znázornenie pohybu, veľkosti a smeru tieňa pre lepšiu predstavivosť problému. K tomu boli prispôsobené aj farby pre znázornenie, aby podávali maximalistický efekt stopy tieňa. Preto výstupy z programu musíme považovať iba ako orientačné. Neprehrádzajú nám totiž skutočnosť podielu difúznej zložky žiarenia. V reálnych

podmienkach by tak pri jeho vyššom percentuálnom zastúpení nemusel byť badateľný žiaden tieň na paneloch. Pripadne k zatieneniu, ku ktorému by dochádzalo od zachytávacej tyče, by bolo natoľko neškodné, že by predstavovalo zanedbateľné straty na výkone sústavy. Už len ak zoberieme do úvahy holý fakt, že väčšiu časť zachytávacej tyče spôsobujúcej tieň tvorí hrúbka len 1 cm a jej vzdialenosť od následnej rady panelov je viac ako 8 m. Neopomínajúc podmienky priemerného percentuálneho zastúpenia difúzneho žiarenia v Českej republike okolo 60 %. Logicky sa podšúva názor, že vplyv na pokles výkonu bude minimálny.

Svoju úlohu v poklese výkonu zohráva aj orientácia a konštrukčné prevedenie fotovoltického panela. Záleží na počte a zapojení použitých bypass diód panela. Ich úlohou je v prípade, že dôjde k zatieneniu fotovoltického článku, tento článok prehradiť. Prúd tak článkom alebo sériou článkov nebude prechádzať, ale bude sa uzatvárať cez bypass diódu. To zabezpečí, že článok alebo sústava článkov neprejde do stavu, v ktorom by sa inak choval ako spotrebič.



Obr. 9.4: Principiálna schéma zapojenia troch bypass diód fotovoltického panela

Fotovoltické panely sú v častom prevedení s tromi bypass diódami. Pri paneloch so šiestimi stĺpcami článkov tak vychádzajú na každú diódu dva stĺpce. To má za následok, že pri zatienení čo už len jedného článku zo sériového zapojenia dvoch stĺpcov, dochádza k premosteniu všetkých článkov diódou. Z tohto dôvodu je lepšie horizontálne usporiadanie panelov na nosných konštrukciách. Totiž pri vertikálnom usporiadaní by zatienením len jedného riadku nastalo znefunkčnenie celého panelu. Jeho vyrábaný výkon by odpovedal zakrytiu všetkých článkov panela.

V prípade uvažovanej FVE sú monokryštalické panely vo vertikálnom uložení tri nad sebou. Ak by sme brali v úvahu iba vplyv tieňa od zachytávacej tyče a nezaujímalo by nás vzájomné clonenie jednotlivých radov, ktoré má podstatne väčší negatívny účinok na pokles výkonu. Tak potom by vertikálne uloženie panelov vzhľadom na vertikálne orientovaný tieň mohlo byť naopak výhodnejšie. Z efektívneho hľadiska celého systému sa však tieň od zachytávacej tyče radí až na druhé miesto.

Z obrázkov uvedených v prílohe B je vidieť, že k tieneniu fotovoltaických panelov dochádza v relatívne malom množstve. Samozrejme, ak neberieme do úvahy tieň v zimnom období alebo skorých ranných a večerných hodinách. V týchto časoch dochádza k výraznému tieneniu rád panelov od predchádzajúcich a dokonca pri zapadajúcom a vychádzajúcom Slnku si tienia samotné panely vďaka svojmu sklonu. Pokiaľ budú panely vrhať značný tieň, tak zachytávacie zariadenie nebude mať vplyv na ďalšie straty. Treba počítať s tým, že v týchto prípadoch bude dochádzať k tieneniu vždy. Produkcia výkonu je však nízka. Najdôležitejšie obdobie FVE vzhľadom na množstvo vyrobenej energie je v období leta. Počas dňa letného slnovratu nastáva situácia takmer ideálna (vid'. príloha B). V rannej hodine, kedy sa Slnko nachádza nízko a za smerom orientácie panelov, si tienia samotné panely. V čase siedmej rannej hodiny je situácia výrazne odlišná a dochádza k tieneniu iba v krátkej línii od zachytávacích tyčí, panelom ktoré majú chrániť. Pretože ich poloha k nim je iba 0,55 m, budú vrhať oveľa koncentrovanejší tieň. Počas zvyšného dňa nebolo simuláciou zaznamenané žiadne ďalšie tienenie až do západu Slnka. Situácia je obdobná ako v skorých ranných hodinách. V prípade dňa jarnej rovnodennosti (platí aj pre jesennú rovnodennosť), ktorý sa nachádza v strede medzi zimným a letným slnovratom, sú podmienky opäť veľmi priaznivé. Z obrázkov je vidieť, že k tieneniu takmer nenastane, až na krátku líniu tieňa zachytávacích tyčí na vzdialenej rade panelov. V tomto dni neboli zachytené skoré a neskoré hodiny. V tých je ale možné očakávať podobné zatienenie ako v prípade dňa letného slnovratu.

Na základe grafických výsledkov simulácie môžeme usúdiť, že situácia od jarnej a jesennej rovnodennosti smerom k zimnému slnovratu sa bude postupne zhoršovať a môžeme očakávať nárast poklesu výkonu FVE. Naopak, v dňoch rovnodenností a určitého úseku pred nimi smerom k letnému slnovratu dochádza k minimálnym stratám výkonu vplyvom tieňa. Prakticky k zatieneniu panelov skoro vôbec nedochádza, mimo stavu, kedy Slnko vychádza a zapadá. V tomto čase však intenzita dopadajúceho žiarenia je veľmi nízka. Fotovoltaické systémy produkujú minimum elektrickej energie. Samotné zachytávacie tyče vrhajú v tomto období tieň na panely iba v čase skorších a neskorších hodín. A pretože intenzita slnečného žiarenia je nízka a dochádza prevažne k zatieneniu panelov vzdialených až 8,25 m, môžeme tieto straty na výkone považovať za nepodstatné.

9.3 MERANIE VPLYVU TIEŇA ZACHYTÁVACEJ SÚSTAVY NA VÝKON FOTOVOLTAICKÉHO PANELA

V rámci práce bolo pre praktické overenie vplyvu strát na výkon tieňa od zachytávacej tyče, uskutočnené pokusné meranie. Simulácia reálnych podmienok prebiehala na streche objektu VUT Brno, Technická 8.

Meranie sa vykonávalo na polykryštalickej paneli od firmy Solarwatt. Pre vytvorenie rozptylového tieňa bol použitý oceľový prút o hrúbke 15 mm, vzdialený 5 m od panela. Tieň prechádzal naprieč vo vertikálnom smere panela. V dňoch merania panovali slnečné podmienky, čo dokazujú aj dáta namerané pyranometrom. Ani v jednom prípade sa nepohybovali hodnoty intenzity slnečného žiarenia v blízkosti 1000 W/m^2 , ktoré by odpovedali skôr situácii počas letných mesiacov júl, august. V týchto mesiacoch dochádza k najväčšej výrobe elektrickej energie a súčasne k najdlhšiemu osvetlu panelov. Meranie prebiehalo v popoludňajších hodinách v dni 9.5. Namerané výsledky preukazujú vplyv tieňa na volt ampérovej charakteristike polykryštalickej panely. A to nasledovne:

Meranie za slnečného dňa 9.5., v blízkosti oblasti MPP panela

V tomto dni prebehli dve opakované merania nasledujúce za sebou. Hodnoty boli zaznamenané vždy po 2,5 minútach, kvôli ustáleniu. Meralo sa v optimálnej oblasti výkonu MPP (maximum power point). Postup spočíval v zmeraní veličín napätia a prúdu pred zatienením a počas zatienenia panelu oceľovým prútom. Počas druhého merania bola zmeraná hodnota intenzity žiarenia aj po odtienení panela. Tým sa docielilo spriemerovanie počiatočnej a konečnej hodnoty, pre spresnenie výsledkov prechodného deja. Jednotlivé namerané a vypočítané výsledky sú uvedené v nasledovnej tabuľke.

Číslo merania	Pred zatienením			Po zatienení			Rozdiel
	U [V]	I [A]	P [W]	U [V]	I [A]	P [W]	
1.	24,37	3,52	85,7824	24,13	3,5	84,4550	1,55
2.	24,41	3,51	85,6791	24,21	3,48	84,2508	1,67

Tab. 9-3: Namerané a vypočítané hodnoty vplyvu tieňa dňa 9.5.2012

Z výsledkov plynie, že určitý pokles výkonu vplyvom tieňa oceľového prútu nastáva. Hodnoty sú ale výrazne pod úrovňou 2 % strát výkonu, s priemernou hodnotou 1,61 %.

Počas merania boli pyranometrom zaznamenané nasledovné údaje:

Hodnoty z pyranometra počas merania dňa 9.5.2012		
Čas	Intenzita ožiarenia [W/m ²]	Teplota panela [°C]
16:10:03	571,722	47,76
16:15:03	556,718	48,34
16:20:03	618,769	48,93

Tab. 9-4: Zaznamenané hodnoty pyranometra počas merania, dňa 9.5.2012

Vyhodnotenie merania vplyvu tieňa zachytávacej sústavy

Výsledky experimentu predznamenávajú, že vo väčšine elektrární, kde je dochádza k neustálemu sledovaniu optimálneho MPP, bude pokles výkonu vplyvom zachytávacej sústavy minimálny (okolo 1,61 %). Treba počítať aj s tým, že pri veľkých FVE, bývajú vzdialenosti medzi zachytávaciou sústavou a následnou radou panelov ešte väčšie. V prípade našej elektrárne je navrhnutá aj zachytávacia tyč menších rozmerov vo väčšine svojej vplývajúcej časti. V takom prípade by boli straty na výkone ešte nižšie.

Pre lepšie porovnanie by bolo potrebné uskutočniť meranie v lete na dvoch paneloch, kedy by jeden z nich bol bez vplyvu tieňa a druhý zatienený. Následne by sa porovnal energetický zisk oboch panelov. Takéto meranie však nebolo z časových dôvodov umožnené (júl až august). Preto vyššie uvedené meranie môžeme považovať iba ako orientačné. A aj tak čiastočne potvrdilo predpoklad o znížení výkonu z dôvodu zatienenia zachytávacím vodičom.

Údaje o použitých zariadení v meraní

- Meraný objekt: Polykryštalycký panel: Solarwatt, typ STP200-18/Ud,
- Meracie prístroje: Multimeter č.1: APPA 109N, v.č: S/N03600316,
Multimeter č.2: APPA 109N, v.č: S/N03600308,
Pyranometer: Kipp&Zonen CMP 21, v.č: 110611,
Rezistor stratového výkonu: Metra 10 A; 6,7 Ω , v.č: 300529.



Obr. 9.5: Fotografia merania



Obr. 9.6: Fotografia zachytávacej tyče

9.4 PROBLEMATIKA V PRAXI

Daná problematika vplyvu tieňa od zachytávacej sústavy na pokles výkonu fotovoltaiických aplikácií bola zisťovaná aj u odborníkov z praxe. Konkrétne u ľudí z prostredia, ktorí sa zaoberajú návrhom ochrany pred bleskom a výrobou fotovoltaiických zariadení. Podľa ich znalostí a skúseností, vplyv tieňa zachytávacích tyčí môže pre FVE, aká je v mojom prípade, predstavovať pokles výkonu okolo 2 % a maximálne do 10 %. Podľa ich slov sa tieto straty zanedbávajú vzhľadom na súčasný nízky pokles cien panelov. Touto problematikou sa preto príliš nezaobierajú ani investori, ani výrobný sektor. Väčšie straty môže predstavovať napríklad vplyv rosy a neďaleké obrábanie pôdy poľnohospodárskymi strojmi. To v prípade veľkých FVE postavených na poli môže byť častým javom. Na fotovoltaiických paneloch dochádza k vytvoreniu nánosov.

ZÁVER

Úlohou práce bolo preštudovanie platných technických noriem ČSN EN 62305, ktoré je nutné rešpektovať pri návrhu a zhotovení ochrany proti blesku. Základné poznatky súvisiace s ochranou stavby voči atmosférickým vplyvom boli chronologicky rozobrané v niekoľkých kapitolách. Poskytujú tak stručný obsah jednotlivých zväzkov normy ČSN EN 62305.

Na základe získaných poznatkov bolo možné pristúpiť k návrhu účelnej ochrany proti blesku danej FVE. Cieľom bolo navrhnúť zachytávacie zariadenie na úder blesku. V rámci práce bol zhotovený komplexný návrh vonkajšej ochrany pre všetky objekty nachádzajúce sa v stavbe FVE. Najskôr však bola prevedená analýza rizika pre FVE, ktorou sa docielilo správneho postupu voľby ochranných opatrení. Samostatne sa tak pristúpilo k návrhu bleskozvodu pre oblasti fotovoltických panelov, transformačnej stanice vn/nn a troch technických miestností. Zachytávacie zariadenie bolo navrhnuté pomocou metódy ochranného uhla a valiacej sa gule v modelovacom programe. Pre každý objekt FVE bola navrhnutá ochrana odpovedajúca bezpečnostným požiadavkám normy ČSN EN 62305.

Ďalším cieľom práce bolo navrhnúť ochranu dátových liniek, čo sa radí do vnútornej ochrany FVE pred bleskom. K tomuto bodu sa pristúpilo celkovým návrhom ochrany všetkých elektrických rozvodov a zariadení FVE. Bola tak navrhnutá koordinovaná ochrana pre stranu jednosmerného aj striedavého prúdu. Nebezpečenstvo ohrozenia rázovou vlnou bolo nutné predpokladať aj zo strany pripojenej siete, čo býva pomerne častým javom. Bezpečnosť systému FVE bola navrhnutá použitím prepäťových ochrán rôznych typov. Tie boli inštalované priamo v oblasti fotovoltických panelov, technických miestností pre DC aj AC stranu meniča a v rozvádzačoch transformačnej stanice vn/nn. Prepäťovými ochranami je dodržaná aj ochranná hladina koncových monitorovacích zariadení umiestnených v transformačnej stanici vn/nn.

Obsahom práce je tiež analýza vplyvu tieňa zachytávacích tyčí na celkový výkon FVE. K tomuto problému sa pristúpilo štyrmi rozličnými spôsobmi a to výpočtom polohy Slnka voči panelom FVE, simuláciou vznikajúceho tienenia modelovacím programom, praktickým meraním vplyvu a získaním znalostí od ľudí z praxe, pracujúcich v oblasti návrhu ochrán pred bleskom a výrobou fotovoltických systémov. Na základe zmienených postupov sa dospelo k záveru, že vplyv tieňa na celkový výkon FVE predstavuje minimálne straty pohybujúce sa v okolí 2 %. Straty však závisia na konkrétnom prípade realizácie FVE. Pre nami navrhnutú ochranu a danú FVE by sme však tieto straty mohli považovať za reálne.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] Abid, A. *Introduction to Lightning: Hazards & Protection* [online]. c2011, posledné úpravy 9.2.2011. Dostupné z WWW: <http://utmabidali.blogspot.com>
- [2] ČSN EN 62305-1. Ochrana před bleskem. Časť 1. *Obecné princípy*. November 2006. 64s.
- [3] ČSN EN 62305-2. Ochrana před bleskem. Časť 2. *Řízení rizika*. November 2006. 110s.
- [4] ČSN EN 62305-3. Ochrana před bleskem. Časť 3. *Hmotné škody na stavbách*. November 2006. 144s.
- [5] Šalanský, D., Hájek, J. *DEHN: Tipy a triky – Jímací tyč – součást, kterou začíná hromosvod* [online]. august 2008. Dostupné z WWW: <http://elektrika.cz/data/clanky/dehn-tipy-a-triky-pri-instalaci-prepetovych-ochran-cast-13>
- [6] Elektrotechnická spôsobilosť. *Ochrana pred bleskom* [online]. Dostupné z WWW: <http://ets.adlerka.sk/index.php?k=otza&pk=225>
- [7] *Ochrana pred účinkami atmosférickej elektriny* [online]. Dostupné z WWW: <http://www.els.webzdarma.cz/atmel.html>
- [8] Safe. *One lightning rod, one safety* [online], c2008, posledné úpravy 5.8.2008. Dostupné z WWW: <http://www.all-security-system.com/news-226/one-lightning-rod-one-safety.html>
- [9] Šalanský, D., Hájek, J. *DEHN: Tipy a triky – Jak uzemnit hromosvod* [online]. august 2008. Dostupné z WWW: <http://elektrika.cz/data/clanky/dehn-tipy-a-triky-jak-uzemnit-hromosvod>
- [11] Kykal, P. OEZ. *Prepět'ové ochrany - aplikačná príručka* [online]. c2009, posledné úpravy 19.10.2011. Dostupné z WWW: <http://www.oez.cz/file/279>
- [12] Šalanský, D., Hájek, J. Kniška. *První elektronická kniška o ochraně před bleskem*, verze 2.1 [online]. Dostupné z WWW: <http://www.kniska.eu>
- [13] Milan Kaucký. Kniška. *Analýza rizika dle ČSN EN 62305-2, verzia 5.01* [online]. Dostupné z WWW: <http://www.kniska.eu>
- [14] Milan Kaucký. Kniška. *Výpočet ochranného úhlu, verzia H03.1.01* [online]. Dostupné z WWW: <http://www.kniska.eu>
- [15] Kykal, P. OEZ. *Ochranné a spínací přístroje fotovoltaických zdrojů* [online]. c2010, posledné úpravy 8.2.2010. Dostupné z WWW: <http://www.oez.cz/file/350>
- [16] DEHN. *UE Přepět'ové ochrany. Katalog UE 2010/2011* [online]. 383s. Dostupné z WWW: <http://www.dehn.eu>
- [17] Šalanský, D., Hájek, J. *Přepět'ové ochrany ve FVE. Ochrana fotovoltaických systémů před bleskem a přepětím* [online]. Dostupné z WWW: <http://www.kniska.eu>
- [18] Kittler, R., Mikler, J. *Základy využívania slnečného žiarenia*, 1. vyd. Bratislava: Veda, 1986. 150s.

PRÍLOHA A

DG M YPV SCI 1200	
SPD classification according to EN 61643-11	Type 2
SPD classification according to IEC 61643-1	Class II
Max. PV voltage U_{CPV}	≤ 1200 V
Max. continuous operating d.c. voltage [(DC+/DC-) $\rightarrow$ PE] U_C	600 V
Total discharge current (8/20 μ s) I_{total}	30 kA
Nominal discharge current (8/20 μ s) [(DC+/DC-) $\rightarrow$ PE] I_n	12.5 kA
Max. discharge current (8/20 μ s) [(DC+/DC-) $\rightarrow$ PE] I_{max}	25 kA
Voltage protection level U_p	≤ 4.5 kV
Voltage protection level at 5 kA U_p	≤ 4 kV
Response time t_A	≤ 25 ns
Operating temperature range T_U	-40°C...+80°C
Breaking capacity of the integrated fuse	30 kA / 1200 V d.c.
Operating state/fault indication	green / red
Cross-sectional area (min.)	1.5 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (max.)	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Degree of protection	IP 20
Capacity	3 mod(s), DIN 43880
Approvals, Certifications	—

Obr. A-0.1: Technické údaje zvodíča prepätia DEHNguard DG M YPV SCI 1200 FM [16]

DV M TNC 255 FM	
SPD according to EN 61643-11 / ... IEC 61643-1	Type 1 / Class I
Energy-coordinated protection effect with regard to the terminal equipment	Type 1 + Type 2
Energy-coordinated protection effect with regard to the terminal equipment (≤ 5 m)	Type 1 + Type 2 + Type 3
Nominal a.c. voltage U_N	230 / 400 V
Max. continuous operating a.c. voltage U_C	255 V
Lightning impulse current (10/350 μ s) [L1+L2+L3-PEN] I_{total}	75 kA
Lightning impulse current (10/350 μ s) [L-PEN] I_{imp}	25 kA
Nominal discharge current (8/20 μ s) I_n	25 / 75 kA
Voltage protection level U_p	≤ 1.5 kV
Follow current extinguishing capability a.c. I_{fi}	50 kA _{rms}
Follow current limitation/Selectivity	no tripping of a 20 A gL/gG fuse up to 50 kA _{rms} (prosp.)
Response time t_A	≤ 100 ns
Max. backup fuse (L) up to $I_K = 50$ kA _{rms}	315 A gL/gG
Max. backup fuse (L) for $I_K > 50$ kA _{rms}	200 A gL/gG
Max. backup fuse (L-L')	125 A gL/gG
Temporary overvoltage (TOV) U_T	440 V / 5 sec.
TOV characteristics	withstand
Operating temperature range [parallel]/[continuity] T_U	-40°C...+80°C / -40°C...+60°C
Operating state/fault indication	green / red
Cross-sectional area (L1, L1', L2, L2', L3, L3', PEN, $\pm$) min.	10 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (L1, L2, L3, PEN) max.	50 mm ² stranded/35 mm ² flexible
Cross-sectional area (L1', L2', L3', $\pm$) max.	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Degree of protection	IP 20

Obr. A-0.2: Technické údaje kombinovaného zvodíča prepätia DEHNventil DV M TNC 255 FM [16]

BXTU ML4 BD 0-180	
SPD class	TYPE 1 P1
SPD monitoring system	LifeCheck
Operating voltage U_N	0 - 180 V
Frequency of the operating voltage f_{UN}	≤ 400 Hz
Max. continuous operating d.c. voltage U_C	180 V
Max. continuous operating a.c. voltage U_C	127 V
Permissible superimposed signal voltage U_{signal}	$\leq \pm 5$ V
Cut-off frequency line-line (U_{signal} , balanced 100 ohms) f_G	25 MHz
Nominal current at 80° C I_L	100 mA
D1 Total lightning impulse current (10/350 μ s) I_{imp}	10 kA
D1 Lightning impulse current (10/350 μ s) per line I_{imp}	2.5 kA
C2 Total nominal discharge current (8/20 μ s) I_n	20 kA
C2 Nominal discharge current (8/20 μ s) per line I_n	10 kA
Voltage protection level line-line for I_n C2 U_p	see diagram on page 183, line C2
Voltage protection level line-line at 1 kV/ μ s C3 U_p	see diagram on page 183, line C3
Voltage protection level line-line for I_{imp} D1 U_p	$\leq U_N + 53$ V
Voltage protection level line-PG for C2/C3/D1	≤ 550 V
Series impedance per line R	≤ 10 ohms; typically 7.5 ohms
Capacitance line-line C	≤ 200 pF
Capacitance line-PG C	≤ 16 pF
Operating temperature range	-40°C...+80°C
Degree of protection (SPD plugged-in)	IP 20
Pluggable into	BXT BAS base part
Earthing via	BXT BAS base part
Enclosure material	polyamide PA 6.6
Colour	yellow
Test standards	EN 61643-21
Approvals, Certifications	GOST

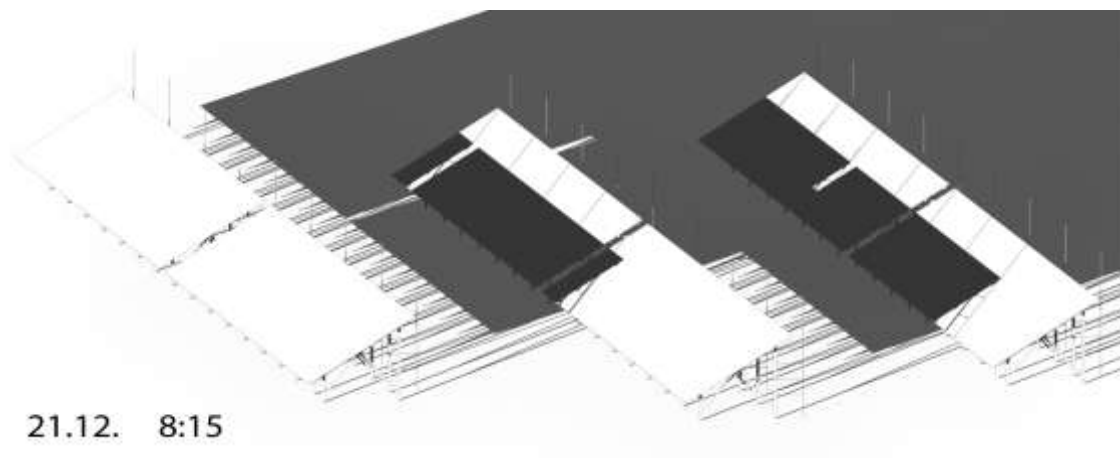
Obr. A-0.3: Technické údaje kombinovaného zvodica prepätia BLITZDUCTOR XT [16]

DR M 2P 255	
SPD according to EN 61643-11 / ... IEC 61643-1	Type 3 / Class III
Nominal a.c. voltage U_N	230 V
Max. continuous operating a.c. voltage U_C	255 V
Max. continuous operating d.c. voltage U_C	255 V
Nominal load current a.c. I_L	25 A
Nominal discharge current (8/20 μ s) I_n	3 kA
Total discharge current (8/20 μ s) [L+N-PE] I_{total}	5 kA
Combined impulse U_{OC}	6 kV
Combined impulse [L+N-PE] $U_{OC total}$	10 kV
Voltage protection level [L-N] U_P	≤ 1250 V
Voltage protection level [L/N-PE] U_P	≤ 1500 V
Response time [L-N] t_A	≤ 25 ns
Response time [L/N-PE] t_A	≤ 100 ns
Max. mains-side overcurrent protection	25 A gL/gG or B 25 A
Short-circuit withstand capability for mains-side overcurrent protection with 25 A gL/gG	6 kA _{rms}
Temporary overvoltage (TOV) [L-N] U_T	335 V / 5 sec.
Temporary overvoltage (TOV) [L/N-PE] U_T	400 V / 5 sec.
Temporary overvoltage (TOV) [L+N-PE] U_T	1200 V + U_0 / 200 ms
Operating temperature range T_0	-40°C...+80°C
Operating state/fault indication	green / red
Cross-sectional area (min.)	0.5 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (max.)	
For mounting on	
Enclosure material	
Degree of protection	IP 20
Capacity	1 mod., DIN 43880
Approvals, Certifications	

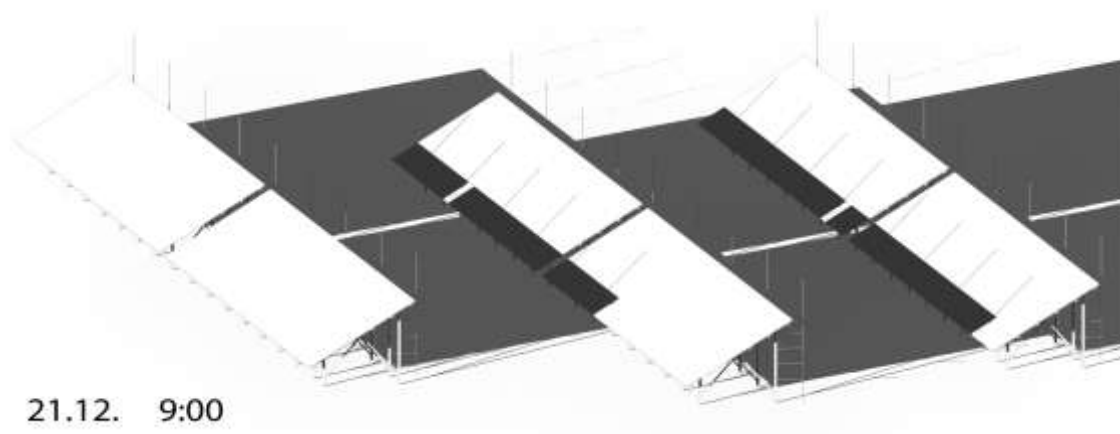
Obr. A-0.4: Technické údaje zvodica prepätia DEHNrail DR M 2P 255FM [16]

PRÍLOHA B

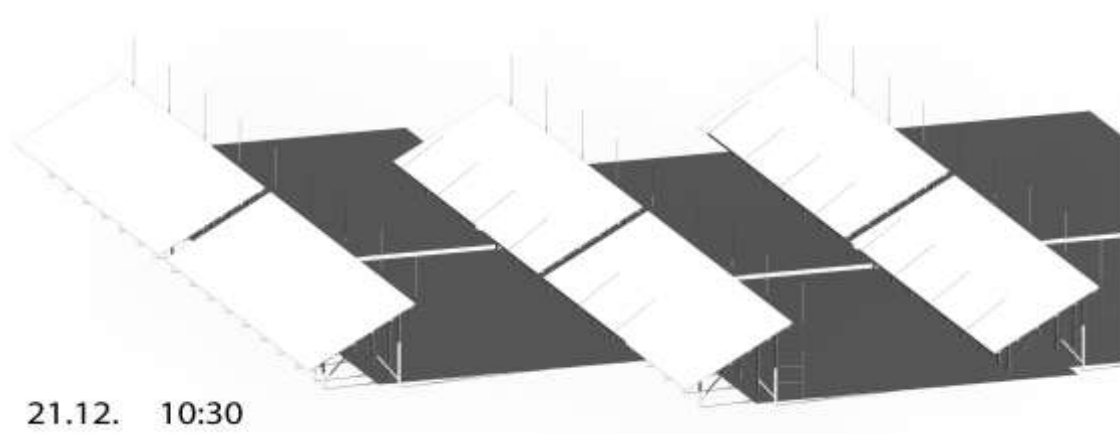
Analýza tieňa panelov a zachytávacích zariadení FVE počas dňa 21.12:



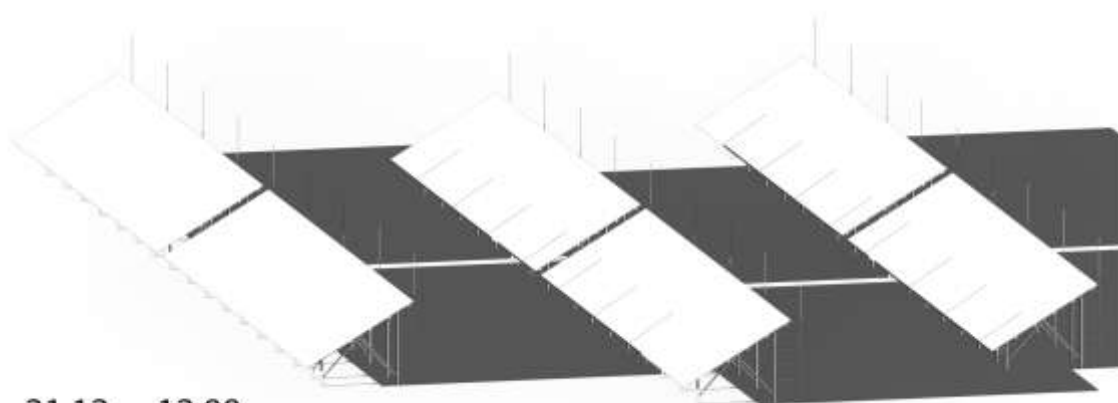
Obr. B-0.1



Obr. B-0.2

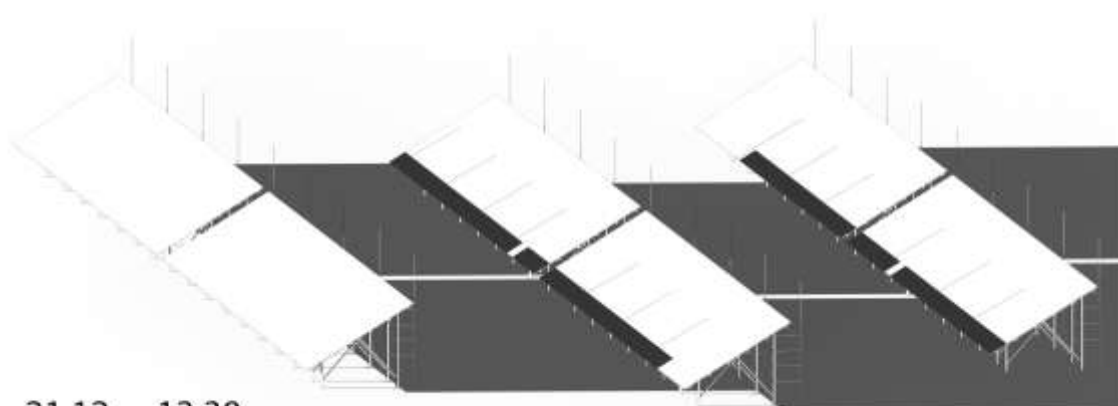


Obr. B-0.3



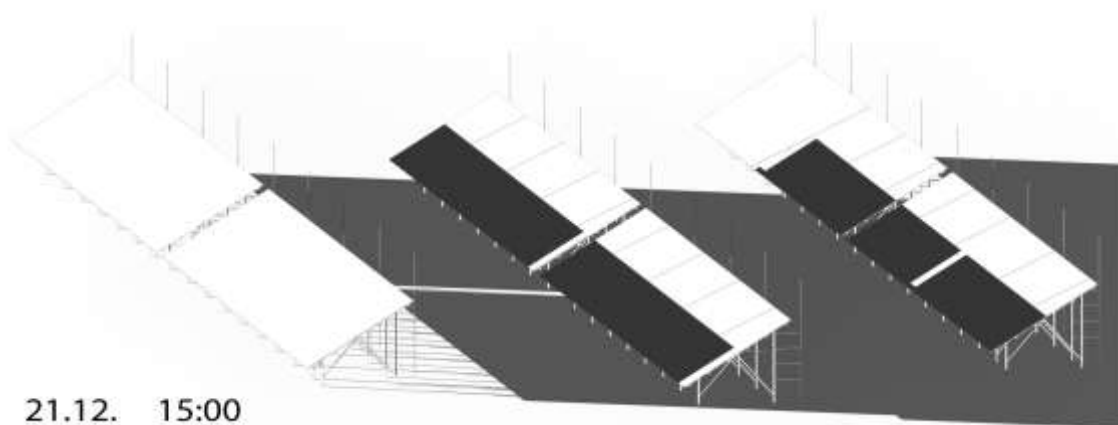
21.12. 12:00

Obr. B-0.4



21.12. 13:30

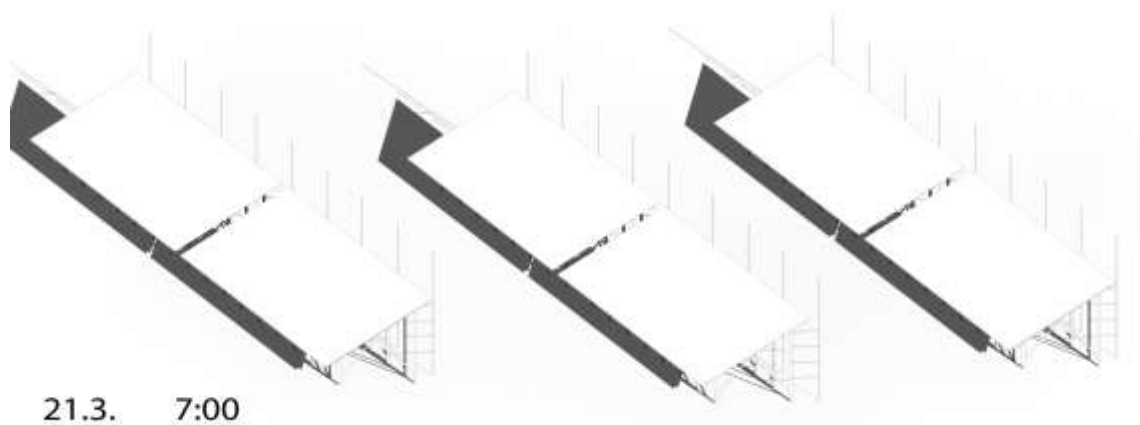
Obr. B-0.5



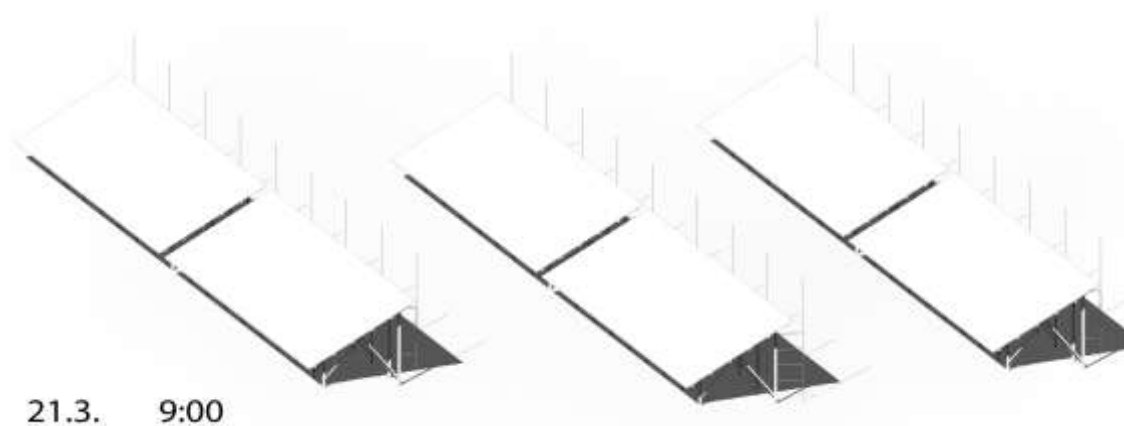
21.12. 15:00

Obr. B-0.6

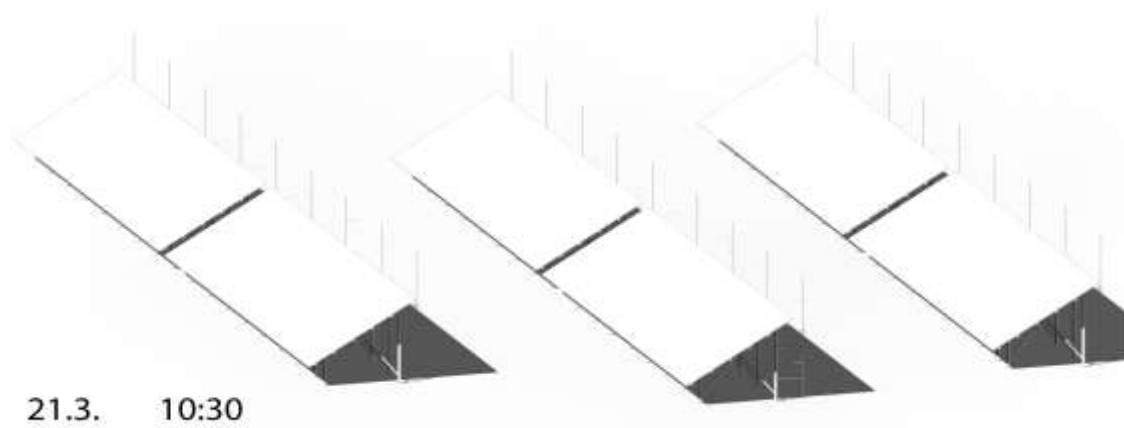
Analýza tieňa panelov a zachytávacích zariadení FVE počas dňa 21.3:



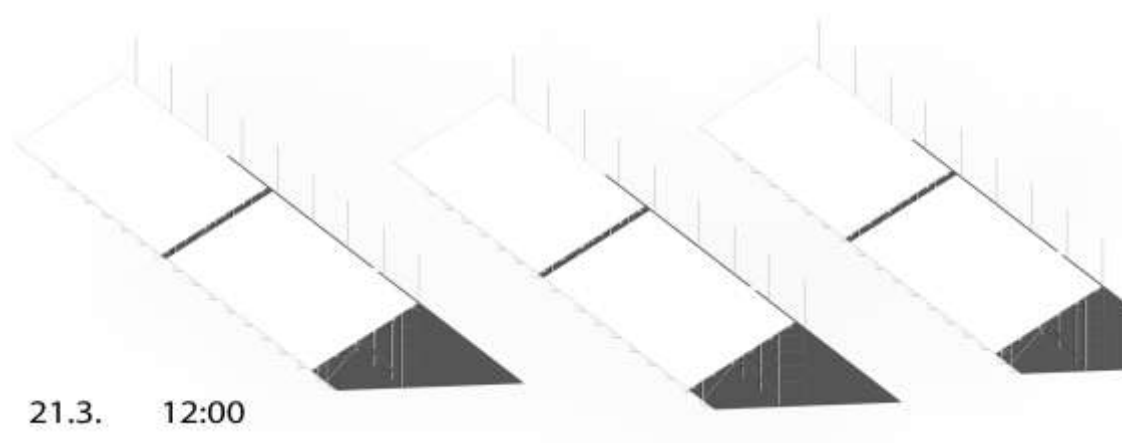
Obr. B-0.7



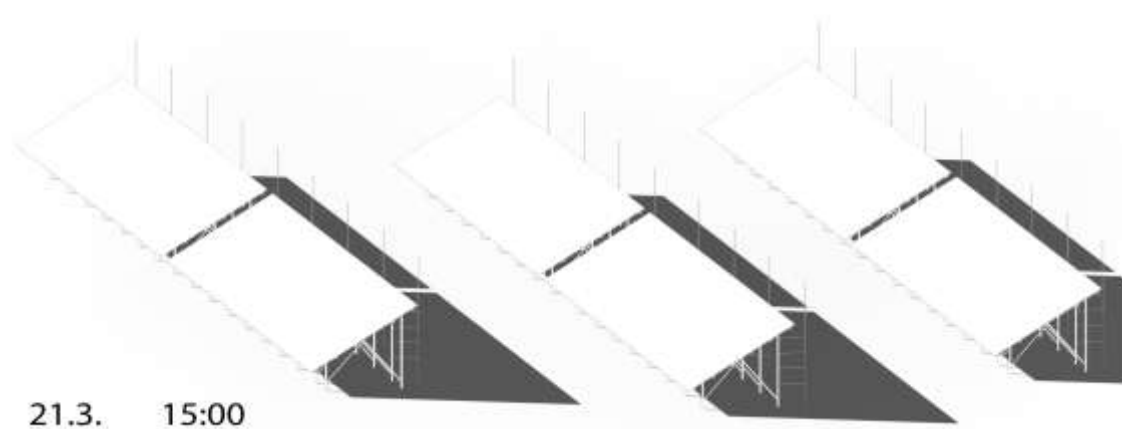
Obr. B- 0.8



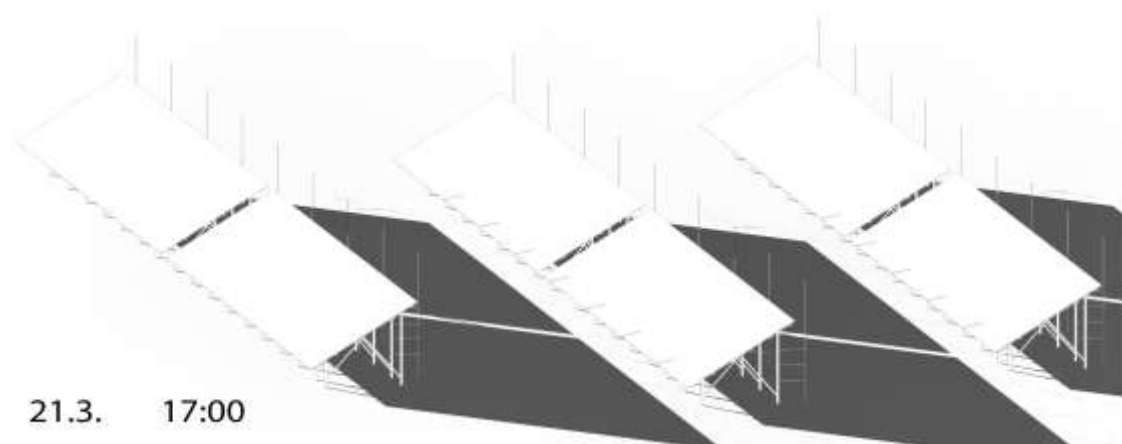
Obr. B-0.9



Obr. B-0.10

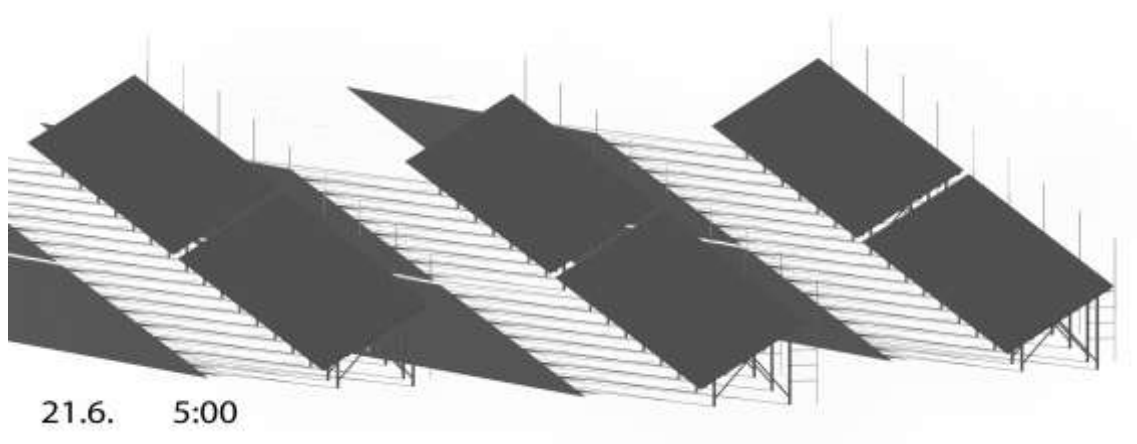


Obr.B-0.11

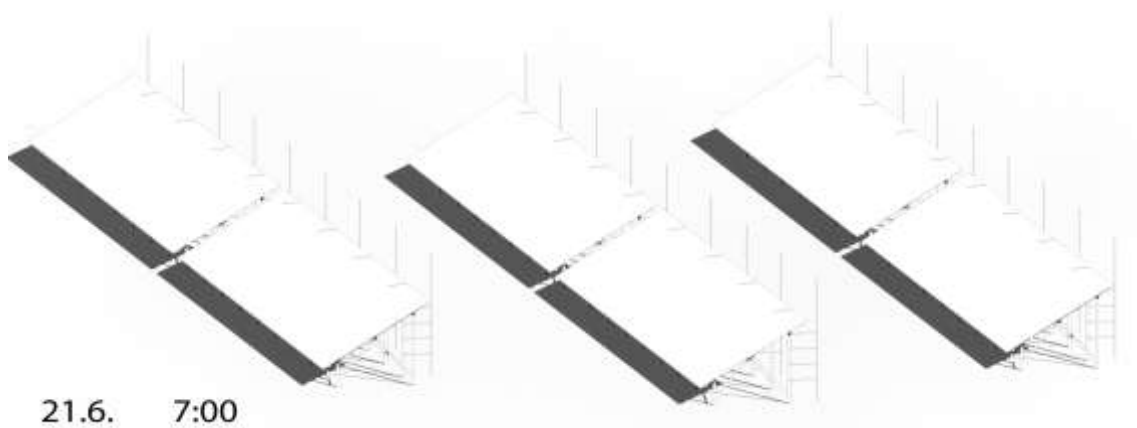


Obr. B-0.12

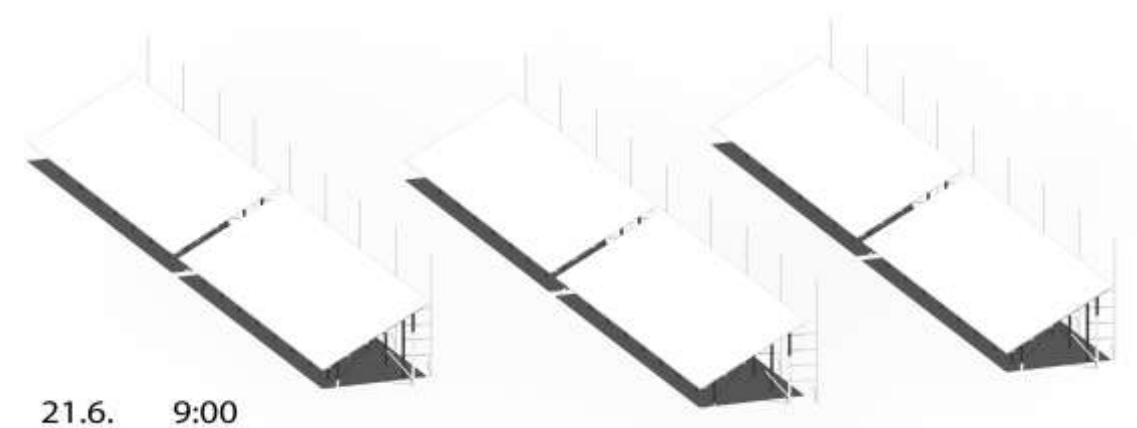
Analýza tieňa panelov a zachytávacích zariadení FVE počas dňa 21.6:



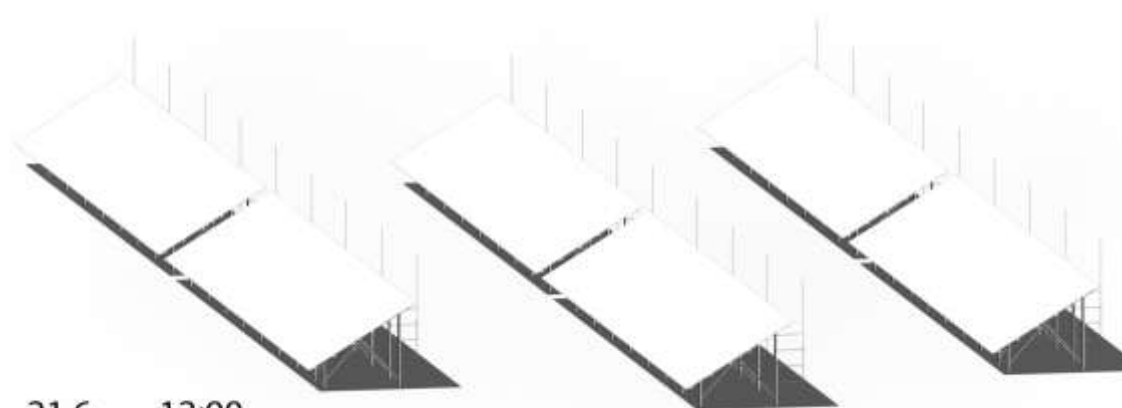
Obr. B-0.13



Obr. B-0.14

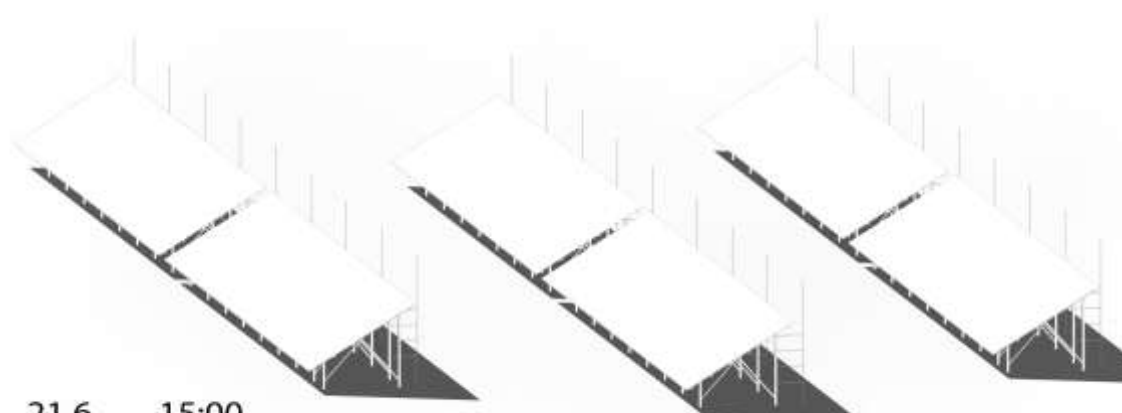


Obr. B-0.15



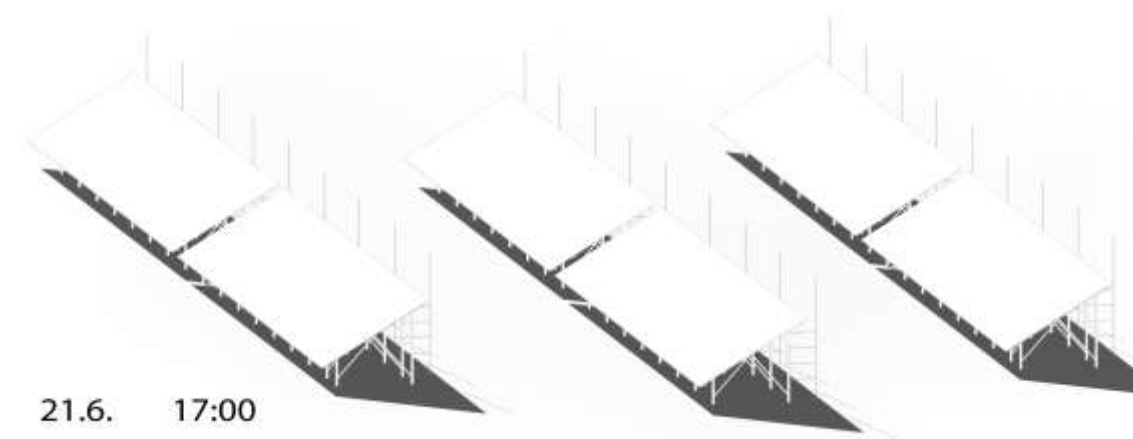
21.6. 12:00

Obr. B- 0.16



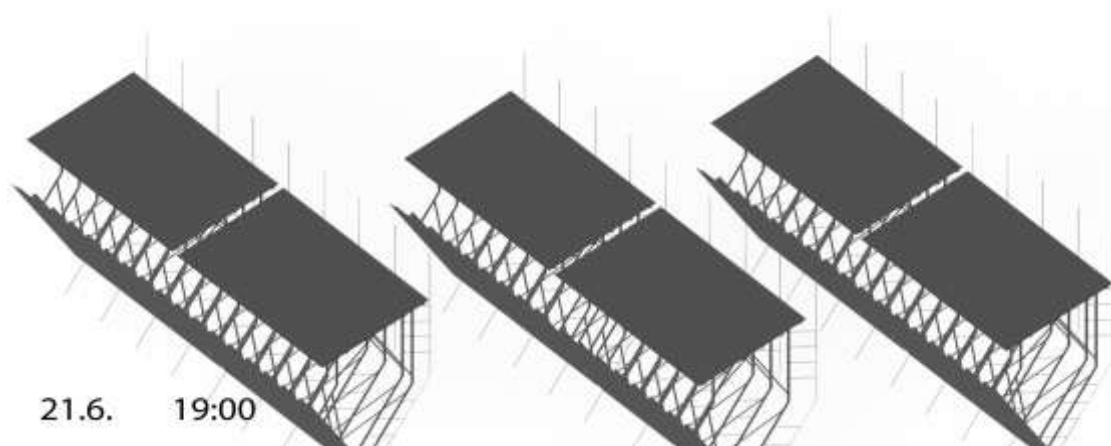
21.6. 15:00

Obr. B-0.17



21.6. 17:00

Obr. B-0.18



Obr. B-0.19