

Požární zabezpečení fotovoltaické elektrárny

Bc. Jakub Molota

Diplomová práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav elektroniky a měření

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Jakub Molota
Osobní číslo:	A22706
Studijní program:	N1032A020003 Bezpečnostní technologie, systémy a management
Specializace:	Bezpečnostní technologie
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Požární zabezpečení fotovoltaické elektrárny
Téma práce anglicky:	Fire protection of a photovoltaic power plant

Zásady pro vypracování

1. Uveďte základní principy fotovoltaických systémů.
2. Vysvětlete základní konfigurace a bezpečnostní prvky FVE.
3. Zpracujte příčiny požárů FVE.
4. Proveďte výběr požárních hlásičů vhodných pro FVE.
5. Navrhněte požární zabezpečení FVE a způsob zpracování poplachu.
6. Zpracujte ekonomickou náročnost návrhu.
7. Odhadněte další vývoj těchto systémů.

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

Seznam doporučené literatury:

1. HENZE, Andreas a HILLEBRAND, Werner. *Elektrický proud ze slunce: fotovoltaika v praxi : technika, přehled trhu, návody ke stavbě*. Ostrava: HEL, 2000. ISBN 8086167127.
2. MCEVOY, A. J.; MARKVART, T. a CASTAÑER MUÑOZ, Luis (ed.). *Practical handbook of photovoltaics: fundamentals and applications*. 2nd ed. Waltham: Academic Press, 2012. ISBN 9780123859341.
3. ANTONY, Falk; DÜRSCHNER, Kerstin a REMMERS, Karl-Heinz. *Photovoltaics for professionals: solar electric systems marketing, design and installation*. Berlin: Solarpraxis, 2007. ISBN 9783934595439.
4. BOŽÍKOVÁ, Monika. *OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE V TEÓRII A PRAXI*. SPU v Nitre, 2012. ISBN 9788055208435.
5. LUKÁŠ, Luděk. *Bezpečnostní technologie, systémy a management III*. Zlín: VeRBuM, 2011-. ISBN 9788087500057.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Rudolf Drga, Ph.D.**
Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **20. listopadu 2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2024**

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan



Ing. Milan Navrátil, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 1. prosince 2023

Prohlašuji, že

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne

Jakub Molota, v. r.
podpis studenta

ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá požiarnou bezpečnosťou fotovoltaických systémov. V teoretickej časti sú uvedené základné princípy a súčasti fotovoltaických systémov, ako sú fotovoltaické články, konštrukcia panelov, fotovoltaické meniče, batérie, konektory a zapojenie panelov. Analyzujú sa aj príčiny požiarov fotovoltaických systémov a ich základné bezpečnostné prvky. Praktická časť porovnáva normy pre montáž fotovoltaických systémov a identifikuje slabé miesta týchto systémov. Analyzujú sa údaje o požiaroch z rôznych krajín a navrhujú sa opatrenia na zlepšenie bezpečnosti, vrátane výberu požiarnych hlásičov a zabezpečenia fotovoltaického systému. Záver práce ponúka pohľad na spôsob spracovania poplachu a budúci vývoj fotovoltaických systémov.

Kľúčové slová: požiarna bezpečnosť, fotovoltaické systémy.

ABSTRACT

The thesis deals with the fire safety of photovoltaic systems. The theoretical part presents the basic principles and components of photovoltaic systems, such as photovoltaic cells, panel construction, photovoltaic inverters, batteries, connectors and panel connections. It also analyzes the causes of photovoltaic system fires and their basic safety features. The practical part compares standards for the installation of photovoltaic systems and identifies the weak points of these systems. The data about fires from various countries are analyzed, and therefore the proposals of measure to improve safety are presented, then the selection of fire detectors and photovoltaic system security are included. The conclusion of the thesis offers an overview of alarm processing methods and the future development of photovoltaic systems.

Keywords: fire safety, photovoltaic systems.

V prvom rade by som chcel poďakovať rodine za podporu a vytrvalosť počas môjho štúdia a písaní diplomovej práce. Ďalej by som chcel poďakovať môjmu školiteľovi (Ing. Rudolf Drga, Ph.D.) za odbornú pomoc a usmernenie pri písaní mojej práce, za cenné rady a v neposlednom rade za jeho ochotu. Tiež by som chcel poďakovať pánovi Ing. Zbyňkovi Petrovskému za odbornú konzultáciu na tému diplomovej práce. Nakoniec by som chcel poďakovať Fakulte aplikovanej informatiky Univerzity Tomáša Bati za možnosť vzdelania a absolvovania štúdia.

Rád by som uviedol motto, ktoré ma už nejakú časť života sprevádza: život je ako jazda na bicykli. Aby ste udržali rovnováhu, musíte ísť neustále dopredu. (Albert Einstein)

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ZÁKLADNÉ PRINCÍPY A SÚČASTI FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMOV	12
1.1 VYUŽITIE SLNEČNEJ ENERGIE	12
1.2 ZÁKLADNÉ PRINCÍPY	12
1.2.1 Fotovoltaické článok	13
1.2.2 Kremík.....	14
1.2.3 Tenko-vrstvové fotovoltaické články.....	14
1.2.4 Porovnanie základných typov fotovoltaických panelov	15
1.2.5 Životnosť fotovoltaických panelov	16
1.2.6 Faktory ovplyvňujúce účinnosť fotovoltaických panelov.....	16
1.2.7 Snaha o maximálnu účinnosť	17
1.3 NOVÉ A ROZVÍJAJÚCE SA MATERIÁLY SOLÁRNYCH ČLÁNKOV	18
1.4 KONŠTRUKCIA FOTOVOLTAICKÝCH PANELOV	19
1.4.1 Prídavné fotovoltaické systémy (BAPV).....	19
1.4.2 Integrované fotovoltaické systémy (BIPV).....	20
1.5 FOTOVOLTAICKÝ MENIČ.....	23
1.6 BATÉRIE VO FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMOCH.....	24
1.7 KONEKTORY.....	25
1.8 KÁBLE.....	25
1.9 ZAPOJENIE FOTOVOLTAICKÝCH PANELOV	25
1.9.1 Zapojenie do série	26
1.9.2 Paralelne zapojenie.....	26
2 ZÁKLADNÁ KONFIGURÁCIA A BEZPEČNOSTNÉ PRVKY FVE	28
2.1 DOSTUPNÉ KONFIGURÁCIE FVE.....	28
2.1.1 Autonómna (off-grid) konfigurácia bez možnosti nabíjania zo siete.....	28
2.1.2 Autonómna (off-grid) konfigurácia s možnosťou nabíjania energie zo siete.	29
2.1.3 Sieťový systém, ktorý dodáva všetku elektrickú energiu zo slnečnej energie do siete (grid-tie).	29
2.1.4 Sieťový adaptér, ktorý dodáva do siete len prebytočnú elektrickú energiu zo slnečnej energie.	30
2.1.5 Sieťový adaptér so záložnou batériou (grid-interactive).....	30
2.2 BEZPEČNOSTNÉ PRVKY FVE	31
2.2.1 Šok alebo usmrtenie elektrickým prúdom z vodičov pod napätím	32
2.2.2 Vznik oblúkov, ktoré spôsobujú požiare.....	33
2.2.3 Oblúkový záblesk vedúci k výbuchom	33
2.2.4 Vhodné vybavenie pri testovaní zariadení	34
3 PRÍČINY POŽIAROV FVE	36

3.1	POŽIAR VO FOTOVOLTAICKEJ ELEKTRÁRNI.....	36
3.2	RIZIKO VÝBUCHU	37
3.3	NA ČO SI DAŤ POZOR	37
3.3.1	Použitie vhodného ističa	37
3.3.2	Plán na ochranu fotovoltaického systému pred bleskom	38
3.4	PREDZVESŤ MOŽNEJ HAVÁRIE VO FOTOVOLTAICKEJ ELEKTRÁRNI.....	38
3.5	POŽIAR FOTOVOLTAICKÝCH PANELOV	39
3.5.1	Problematika horúcich miest (hot spots).....	39
3.6	ZVÝŠENÝ POČET POŽIAROV FV V ČR A SR.....	41
4	PRAVNE NORMY	42
4.1	SLOVENSKÁ REPUBLIKA	42
4.2	ČESKÁ REPUBLIKA	43
4.3	EURÓPSKA ÚNIA	43
4.3.1	Odporúčania týkajúce sa elektrických komponentov	44
4.3.2	Odporúčania týkajúce sa umiestnenia, prístupu na strechu a značenia.....	44
4.4	NEMECKO.....	45
4.5	ŠVÉDSKO.....	46
4.6	USA.....	46
4.7	DUBAJ.....	46
II	PRAKTICKÁ ČASŤ	48
5	POROVNANIE NORIEM PRE MONTÁŽ FV	49
6	SLABÉ ČASTI FV SYSTÉMOV	52
6.1	ÚDAJE O POŽIAROCH FV SYSTÉMOV Z RÔZNYCH KRAJÍN	52
6.1.1	Austrália	52
6.1.2	Veľká Británia (UK)	55
6.1.3	Nemecko 1995 – 2012	57
6.1.4	Nemecko 2012 – 2021	59
6.1.5	Priemer	60
6.2	INICIÁCIA POŽIARU SPÔSOBENÁ BATÉRIAMI	63
6.3	PREČO STRECHY DOMOV	64
7	NÁVRH OPATRENÍ A VÝBER POŽIARNÝCH HLÁSIČOV.....	66
7.1	KONEKTORY.....	66
7.1.1	Nekvalifikované krimpovanie kolíkov FV kábel a konektor	66
7.1.2	Problém zhody FV konektorov rôznych značiek	67
7.1.3	DC konektory alebo FV káble sú dlhodobo vo vlhkom prostredí	68
7.2	MENIČ	68
7.3	DC IZOLÁTOR	68
7.4	ZLUČOVAČ S POISTKOU (ZLUČOVACIA SKRIŇA + POISTKY).....	70
7.5	FV MODUL	71
7.6	ZÁKLADNÉ ZABEZPEČENIE	72
7.6.1	Zariadenie na rýchle vypnutie na úrovni reťazcov.....	72
7.7	VYSOKÁ ÚROVEŇ ZABEZPEČENIA.....	73
7.7.1	DC odpájač na úrovni panelov	74

7.7.2	Ovládacia skrinka (Control box) k odpájačom na úrovni panelov	75
7.7.3	DC izolátor	76
7.7.4	AC vypínač.....	77
7.7.5	Ochrana batérií	78
7.8	FV SYSTÉM AKO CELOK	79
7.9	DOPLNKOVÉ ZABEZPEČENIE	80
8	NÁVRH ZABEZPEČENIA SYSTÉMU	82
8.1	ZÁKLADNÉ ZABEZPEČENIE	83
8.2	VYSOKÁ ÚROVEŇ	84
9	SPÔSOB SPRACOVANIA POPLACHU	86
10	EKONOMICKÁ NÁROČOSŤ NÁVRHU.....	87
10.1	ZÁKLADNÉ ZABEZPEČENIE	87
10.2	VYSOKÁ ÚROVEŇ ZABEZPEČENIA.....	87
11	BUDÚCI VÝVOJ FV SYSTÉMOV.....	89
11.1	ZLEPŠENIE MATERIÁLOV A KOMPONENTOV	89
11.2	POKROČILÉ DIAGNOSTICKÉ A MONITOROVACIE SYSTÉMY	89
11.3	ZVÝŠENÉ NORMY A REGULÁCIE.....	89
11.4	VYLEPŠENÉ SYSTÉMY HASENIA POŽIARU	89
11.5	VÝSKUM NA PREVENCIU A POTLAČENIE POŽIAROV	89
11.6	EDUKÁCIA A TRÉNING INŠTALATÉROV	90
11.7	INTEGRÁCIA INTELIGENTNÝCH SIETÍ	90
11.8	PRÍPRAVA FV SYSTÉMU V OBLASTI POŽIARNEJ BEZPEČNOSTI	90
	ZÁVER	92
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	94
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	101
	SEZNAM OBRÁZKŮ	104
	SEZNAM TABULEK.....	106

ÚVOD

Téma obnovitelných zdrojov energie je veľmi aktuálnou už niekoľko desaťročí a jej rozvoj je v poslednej dobe na vysokej úrovni. Prechod na obnoviteľné zdroje, medzi ktoré patrí aj slnečná energia, je nevyhnutnou evolúciou v ľudskej spoločnosti. Slnečná energia je nekonečný a čistý zdroj energie. Výskum solárnej energie sa využíva na pomoc pri riešení svetovej energetickej krízy, na ochranu životného prostredia a na podporu významného udržateľného hospodárskeho rastu.

Fotovoltaické systémy predstavujú kľúčový pilier v snahe o udržateľnú energetickú budúcnosť. S ich rozsiahlym využívaním sa však stáva nevyhnutným venovať pozornosť bezpečnosti týchto technológií, obzvlášť v súvislosti s požiarneho rizikom. Táto práca sa zameriava na viacero kľúčových aspektov, aby poskytla komplexný pohľad na fotovoltaické systémy a ich bezpečnostné faktory.

Prvým krokom teoretickej časti je objasnenie základných princípov fungovania fotovoltaických systémov, ktoré konvertujú slnečnú energiu na elektrickú. Následne sú rozobrané rôzne konfigurácie fotovoltaických systémov, ich súčasti a ich bezpečnostné prvky, s dôrazom na identifikáciu potenciálnych hrozieb a možnosti minimalizácie rizík. Neoddeliteľnou súčasťou teoretickej časti je aj súhrn noriem, zaoberajúcich sa fotovoltaickými systémami.

V praktickej časti sa práca hneď z úvodu venuje porovnaniu noriem spomenutých v teoretickej časti. Ďalej praktická časť zahŕňa štúdiu porovnávajúcu príčiny požiarov spôsobených fotovoltaickými systémami. Táto štúdia porovnáva údaje získané z rôznych krajín medzi ktoré patrí Nemecko, Veľká Británia či Austrália. Na základe výsledkov štúdie je následne vykonaný návrh opatrení, výber vhodných požiarneho hlásičov a navrhované požiarne zabezpečenie vrátane spracovania poplachu. Pri všetkých týchto krokoch je kladený dôraz na zhodnotenie ekonomickej náročnosti navrhnutých bezpečnostných opatrení.

Na záver práca odhaduje budúci vývoj fotovoltaických systémov s ohľadom na ich bezpečnostné aspekty a ponúka bežnému spotrebiteľovi kontrolný zoznam pre overenie/pripravenie svojho fotovoltaického systému v rámci požiarnej bezpečnosti. Cieľom diplomovej práce je analyzovať a zhodnotiť riziká požiarnej bezpečnosti fotovoltaických systémov, identifikovať hlavné príčiny požiarov a navrhnúť opatrenia na ich minimalizáciu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÉ PRINCÍPY A SÚČASTI FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMOV

Množstvo slnečného svetla, ktoré dopadne na zemský povrch za hodinu a pol, je dostatočné na to, aby pokrylo celosvetovú spotrebu energie na jeden celý rok. Solárne technológie môžu poskytovať teplo, chladenie, prirodzené osvetlenie, elektrinu a palivá pre množstvo aplikácií. Premieňajú slnečné žiarenie na elektrickú energiu prostredníctvom fotovoltaických panelov. Táto energia sa môže použiť na výrobu elektriny alebo sa môže skladovať v batériách alebo v tepelných zásobníkoch. [1]

1.1 Využitie slnečnej energie

Slnečné žiarenie je svetlo – známe aj ako elektromagnetické žiarenie – ktoré vyžaruje Slnko. Zatiaľ čo na každé miesto na Zemi dopadne v priebehu roka nejaké slnečné svetlo, množstvo slnečného žiarenia, ktoré dosiahne akékoľvek miesto na zemskom povrchu, sa líši. Solárne technológie zachytávajú toto žiarenie a premieňajú ho na užitočné formy energie. [2]

Existujú dva hlavné typy technológií solárnej energie – fotovoltaika (FV) a koncentrovaná solárno-tepelná energia (CSP), kde je pomocou zrkadiel alebo šošoviek sústredené slnečné svetlo do jedného bodu. [3]

Pretože solárne systémy môžu byť spárované s batériami na skladovanie energie, solárne elektrické systémy môžu byť nezávislé od rozvodnej siete, vďaka čomu sú nákladovo efektívne aj pre vzdialené miesta. Solárne moduly nemajú žiadne pohyblivé časti, vďaka čomu sú náklady na údržbu nízke, a sú vysoko spoľahlivé s dlhou životnosťou, až 25 a viac rokov garantovanej elektriny. Slnečná elektrina sa spolieha na Slnko ako zdroj paliva, takže nie je potrebné vŕtať palivá na báze ropy, upravovať ich ani ich dodávať na miesto. Ako je možné vidieť, solárna energia má mnoho výhod. [4]

1.2 Základné princípy

Pochopenie toho, ako fungujú solárne články, je základom pre pochopenie všetkých výskumných a vývojových projektov s cieľom napredovať v technológiách FV. FV za posledných 20 rokov zaznamenala rýchly pokrok, pričom prináša lepšiu účinnosť, lepšiu životnosť a nižšie náklady.

Pred vysvetlením funkcie solárnych článkov, je potreba vedieť, že solárne články, ktoré sú prepojené dohromady, tvoria modul, a keď sú moduly spojené, vytvárajú solárny systém alebo inštaláciu. Typický strešný solárny systém pre obytný dom má približne 30 modulov. [5]

1.2.1 Fotovoltaické článok

Solárne články obsahujú materiál, ktorý vedie elektrinu iba vtedy, keď je energia poskytovaná – v tomto prípade slnečným žiarením. Tento materiál sa nazýva polovodič; „polo“ znamená, že jeho elektrická vodivosť je menšia ako elektrická vodivosť kovu, ale väčšia ako vodivosť izolantu. Keď je polovodič vystavený slnečnému žiareniu, absorbuje svetlo a prenáša energiu na záporne nabitú časticu nazývanú elektrón. Elektróny prechádzajú polovodičom ako elektrický prúd, pretože ostatné vrstvy FV článku sú určené na extrakciu prúdu z polovodiča. Potom prúd preteká kovovými kontaktmi - mriežkovými čiarami na solárnom článku - predtým, ako prejde do meniča. Menič premieňa jednosmerný prúd (DC) na striedavý prúd (AC), ktorý prúdi do elektrickej siete a prípadne sa pripája k okruhu objektu. Pokiaľ bude slnečné svetlo prenikať do modulu a obvod je pripojený, elektrina sa bude vyrábať. [6]

Schopnosť modulu premeniť slnečné svetlo na elektrinu závisí od polovodiča. V laboratóriu sa táto schopnosť nazýva účinnosť fotovoltaickej konverzie. Vonkajšie podmienky ako teplo, špina a tieň môžu znížiť účinnosť konverzie spolu s ďalšími faktormi. Výskumníci však prichádzajú s riešeniami, ako sú zadné pláty, ktoré sú umiestnené na paneloch, aby sa znížila ich prevádzková teplota, a nové konštrukcie buniek, ktoré zachytávajú viac svetla.

Zachytenie väčšieho množstva svetla počas dňa zvyšuje energetický výnos alebo výkon elektrickej energie FV systému v priebehu času. Na zvýšenie energetického výnosu výskumníci a výrobcovia skúmajú bifaciálne solárne články, ktoré sú obojstranné, aby zachytávali svetlo na oboch stranách kremikového solárneho modulu – zachytávajú svetlo odrazené od zeme alebo strechy, kde sú panely nainštalované. Výskumníci stále nevedia, ako bifaciálne prvky ovplyvnia energetický výnos systému, ale niektoré projekty financované SETO (Solar Energy Technologies Office – USA) pracujú na znížení tejto neistoty stanovením základných metrick na kvantifikáciu a modelovanie ziskov bifaciálnej efektívnosti. [5]

1.2.2 Kremík

Hlavným polovodičom používaným v solárnych článkoch je kremík. V skutočnosti sa nachádza v piesku, takže je lacný, ale predtým, ako sa môže premeniť na kryštalický kremík a viesť elektrinu, musí byť rafinovaný v chemickom procese.

Na výrobu kremíkového solárneho článku sa bloky kryštalického kremíka narežú na veľmi tenké plátky. Doštička je spracovaná na oboch stranách, aby sa oddelili elektrické náboje a vytvorila sa dióda, zariadenie, ktoré umožňuje prúdenie prúdu iba jedným smerom. Dióda je vložená medzi kovové kontakty, aby elektrický prúd mohol ľahko vytekať z článku. [7]

Asi 95 % solárnych panelov na dnešnom trhu používa ako polovodič buď monokryštalický kremík alebo polykryštalický kremík. Monokryštalické kremíkové doštičky sú tvorené jednou kryštalovou štruktúrou a polykryštalický kremík sa skladá z množstva rôznych kryštálov. Monokryštalické panely sú efektívnejšie, pretože elektróny sa voľnejšie pohybujú pri výrobe elektriny, ale výroba polykryštalických článkov je lacnejšia.

Maximálna teoretická úroveň účinnosti pre kremíkový solárny článok je približne 32% kvôli časti slnečného žiarenia, ktoré je kremíkový polovodič schopný absorbovať nad šírkou pásma. Najlepšie panely na komerčné využitie majú účinnosť okolo 20 % až 25 %, avšak výskumníci neustále študujú, ako zlepšiť účinnosť a energetický výnos a zároveň udržať nízke výrobné náklady. [6]

1.2.3 Tenko-vrstvové fotovoltaické články

Kremíkové články sú najbežnejším typom solárnych článkov, ale tenko-vrstvové solárne články sú vo všeobecnosti lacnejšie a dajú sa vyrobiť ľahšie. Tenko-vrstvové solárne panely tvoria 3 % až 5 % globálneho trhu, ale zvyčajne sú menej účinné ako kremíkové.

Tenko-vrstvové solárne články sa vyrábajú potiahnutím tenkej vrstvy vysoko absorpčného polovodičového materiálu na sklenenú, plastovú alebo kovovú fóliu nazývanú substrát, a nie vytvorením kryštalového plátku. Tento materiál je možné nanášať na flexibilné povrchy, čo znižuje náklady a solárne články sú univerzálne. Tenké filmy sú zvyčajne tmavé alebo čiastočne priehľadné, takže moduly vyzerajú jednotnejšie ako škvrité, modré alebo čierne moduly kryštalického kremíka. Rekordne vysoká účinnosť tenko-vrstvových článkov je 22,1 %, zatiaľ čo monokryštalické kremíkové články dosiahli 25 % a polykryštalické viac ako 20 %. [8]

Na trhu sú tri typy tenko vrstvových FV článkov nazvané podľa látok z ktorých sú zložené:

- a-Si (amorfný tenko vrstvomý kremík) - tento typ tenkovrstvomého panelu je vyrobený z amorfného kremíka (a-Si), čo je nekryštalický kremík, vďaka čomu je výroba oveľa jednoduchšia ako monokryštalické alebo polykryštalické solárne články.
- CdTe (telurid kadmia) - na rozdiel od solárnych článkov a-Si je tento typ vyrobený zo špeciálnej chemickej zlúčeniny s názvom Telurid kadmia, ktorý veľmi dobre zachytáva slnečné svetlo a premieňa ho na energiu.
- CIGS (Copper (meď), Indium, Gálium, Selenid) - Tieto články sa vyrábajú umiestnením vrstiev medi, india, gália a selenidu na seba, čím sa vytvorí výkonný polovodič, ktorý dokáže efektívne premieňať slnečné svetlo na energiu. [9]

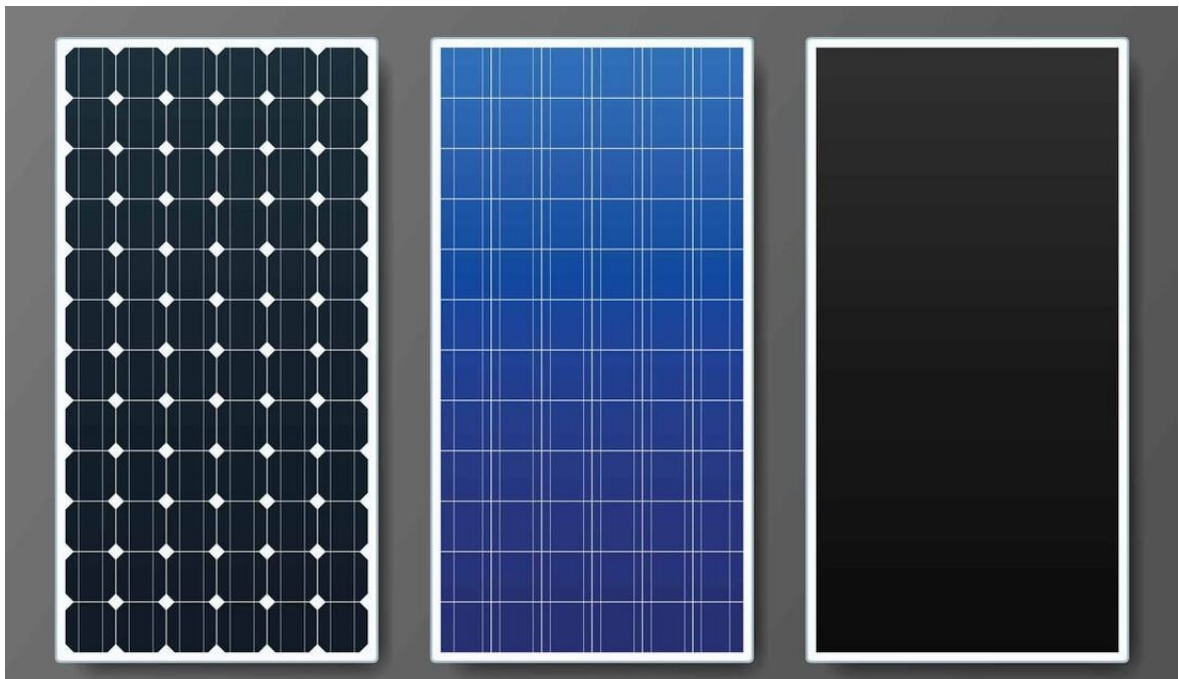
CdTe a CIGS dosiahli produkciu v gigawattovom meradle. CdTe je komerčne úspešnejší a dosiahol úroveň účinnosti porovnateľnú s modulmi kryštalického kremíka v laboratóriu. [6]

1.2.4 Porovnanie základných typov fotovoltaických panelov

Tabuľka 1 – porovnanie základných typov FV panelov [10]

Typ solárneho panelu	Kladné stránky	Záporné stránky
Monokryštalické	Vydržia viac ako 25 rokov	Drahšie ako ostatné dva typy panelov
	Vyrobene z najkvalitnejšieho kremíka	V chladnom počasí môžu byť o niečo menej účinné
	Vyžadujú najmenšiu plochu strechy	Počas výrobného procesu sa plytvá materiálom
Polykryštalické	Vydržia viac ako 25 rokov	Ľahšie ovplyvnené vysokými teplotami
	Sú cenovo dostupnejšie ako monokryštalické panely	Menej efektívne ako monokryštalické panely
	Počas výrobného procesu sa produkuje menej odpadu	Vyžadujú viac priestoru na streche
Tenkovrstvomé	Dokážu odolávať vysokým teplotám	Sú najmenej efektívne
	Je to najlacnejšia možnosť panelu	Vyžadujú najviac priestoru
	Vážia menej ako monokryštalické a polykryštalické panely	Nestačia pre rezidenčné strešné inštalácie

V tabuľke č.1 sú porovnané jednotlivé základné typy FV panelov, pričom sú vždy vypísané ich kladné a záporné stránky.



Obrázok 1 – základné typy FV modulov (panelov) [11]

Na obrázku č. 1 sú zobrazené 3 základné typy FV modulov, vľavo je zobrazený polykryštalický FV modul, v strede monokryštalický modul a vpravo je tenkovrstvový panel.

1.2.5 Životnosť fotovoltaických panelov

Životnosť polykryštalických a monokryštalických solárnych panelov je viac ako 25 rokov. Niektorí odborníci tvrdia, že monokryštalické panely majú nižšiu mieru degradácie, ale kremíkový solárny článok, z ktorého sú vaše solárne panely vyrobené, zvyčajne nemá vplyv na ich životnosť.

V priebehu času sa výkon degraduje približne o 0,8 % každý rok v závislosti od kvality panelu. Panely by mali v druhom roku produkovať 99,2 % pôvodného výkonu, v treťom roku 98,4 % atď. Záruky na solárne panely pomáhajú stanoviť očakávania týkajúce sa toho, ako dlho môžu solárne panely a iné zariadenia, ako napríklad meniče, vydržať. [7]

1.2.6 Faktory ovplyvňujúce účinnosť fotovoltaických panelov

Hoci výrobcovia FV článkov zvyčajne nezverejňujú žiadne podrobnosti o vlastnom výrobnom procese z dôvodu obchodného tajomstva, možno predpokladať, že kvalitu týchto článkov určujú podmienky rezania kryštálov a kremenných blokov, ako aj podmienky kultivácie monokryštalických kryštálov. Medzi ďalšie faktory ovplyvňujúce kvalitu patria podmienky, v ktorých sa panely lešia, ako aj čistota, vetranie a teplota miestností, kde

prebiehajú kľúčové procesy. Najjednoduchšie je však porovnať účinnosť a výkon identických panelov dodávaných rôznymi výrobcami, pretože do značnej miery závisia od kvality výrobného procesu a materiálov použitých pri výrobe. Aby sa získali objektívne výsledky, testy sa musia vykonávať za rovnakých podmienok reálneho sveta, ktoré sú neustále ovplyvňované rôznymi faktormi spoločnými pre všetky panely (bunky) ovplyvnené testom.

Avšak bez ohľadu na to, či sa vykonáva porovnávací test alebo sa analyzuje skutočná prevádzka FV systému, vždy existuje rovnaká skupina faktorov, ktoré ovplyvňujú konečné výsledky:

- plocha strechy;
- sklon strechy vo vzťahu k slnečnému žiareniu;
- ročné obdobie, t. j. intenzita slnečného žiarenia;
- čas absorpcie slnečného svetla v hodinách;
- prevádzková teplota článkov.

To posledné je dosť problematické, keďže účinnosť článkov klesá, keď dosiahnu svoj teplotný limit, čo sa stáva počas veľmi horúcich a slnečných dní. Ide teda o paradoxnú situáciu, keďže práve v týchto dňoch je najväčšia intenzita slnečného žiarenia. Iné faktory uvedené vyššie, vrátane tieňa na prevádzkových miestach panelov, tiež priamo ovplyvňujú množstvo získanej elektrickej energie. Dôležité sú aj ročné obdobia, keďže na jar a v lete je počet slnečných dní väčší a intenzita slnečného žiarenia je najvyššia, čo spolu so správnym uhlom sklonu buniek dáva oveľa lepšie výsledky. [6]

1.2.7 Snaha o maximálnu účinnosť

Výskumníci nepretržite pracujú na zlepšení účinnosti článkov vrstvením viacerých rôznych polovodičov, aby vytvorili solárne články s viacerými spojmi. Tieto články sú v podstate polovodičové zväzky, na rozdiel od článkov s jedným prechodom, ktoré majú iba jeden polovodič. Každá vrstva absorbuje inú časť slnečného spektra, čím sa slnečné svetlo využíva viac ako jednobunkové články.

Množstvo a typ svetla, ktoré polovodič absorbuje, určuje jeho bandgap (pásmovú medzeru), čo je vlastnosť, ktorá znamená minimálne množstvo energie potrebnej na uvoľnenie elektrónov, aby materiál mohol viesť elektrinu. Bez tejto energie pôsobí kremík ako izolant. Viacprechodové solárne články môžu dosiahnuť rekordnú úroveň účinnosti, pretože

svetlo, ktoré nie je absorbované prvou polovodičovou vrstvou, je zachytené vrstvou pod ňou. Rôzne vrstvy absorbujú rôzne časti slnečného spektra. Akonáhle je svetlo absorbované, energia sa premení na elektrický prúd a stratí sa menej energie, pretože bandgap je bližšie k energii absorbovaného svetla.

Zatiaľ čo všetky solárne články s viac ako jednou šírkou pásma sú viacprechodové solárne články, solárny článok s presne dvoma šírkami pásma sa nazýva tandemový solárny článok. Viacprechodové solárne články, ktoré kombinujú polovodiče zo stĺpcov III a V v periodickej tabuľke, sa nazývajú viacprechodové III-V solárne články.

Viacprechodové solárne články preukázali účinnosť vyššiu ako 45 %, ale sú nákladné a ťažko sa vyrábajú, takže sú vyhradené na prieskum vesmíru. Armáda používa solárne články III-V v dronoch a výskumníci pre ne skúmajú ďalšie možnosti využitia, kde je kľúčová účinnosť premeny energie. [8]

1.3 Nové a rozvíjajúce sa materiály solárnych článkov

Fotovoltaika neustále napreduje a preto sa neustále vyvíjajú a skúmajú nové technológie ktoré môžu tento typ obnoviteľnej energie zdokonaľiť.

Jedným z nových typov FV panelov sú aj Perovskitové solárne články, ktoré sú typom tenko-vrstvových článkov a sú pomenované podľa rovnomennej kryštálovej štruktúry ABX_3 . Perovskitové bunky sú vyrobené z vrstiev materiálov, ktoré sú vytlačené, potiahnuté alebo vákuovo nanosené na substrát. Zvyčajne sa ľahko vyrábajú a môžu dosiahnuť účinnosť solárnej premeny vyššiu ako 20%. V laboratóriu sa účinnosť perovskitových solárnych článkov zlepšila rýchlejšie ako ktorýkoľvek iný materiál fotovoltického absorbéra, z 3% v roku 2009 na viac ako 24% v roku 2019. Aby však boli komerčne životaschopné, musia byť perovskitové fotovoltické články dostatočne stabilné a odolné, aby prežili 20 rokov vonku, takže výskumníci na tom pracujú a vyvíjajú rozsiahle a nízko nákladové výrobné techniky.

Ďalším typom sú solárne články s takzvanými “kvantovými bodkami” Tie vedú elektrickú energiu elektrinu cez drobné polovodičové častice široké niekoľko nanometrov, nazývané kvantové bodky. “Kvantové bodky” poskytujú nový spôsob spracovania polovodičov, ale je ťažké medzi nimi vytvoriť elektrické spojenie, takže nie sú príliš efektívne. [8]

Posledným zo spomenutých nových materiálov sú organické fotovoltické články (OPV). Sú to ľahké solárne články vyrobené z uhlíkových zlúčenín, ktoré možno rozpustiť a spr-

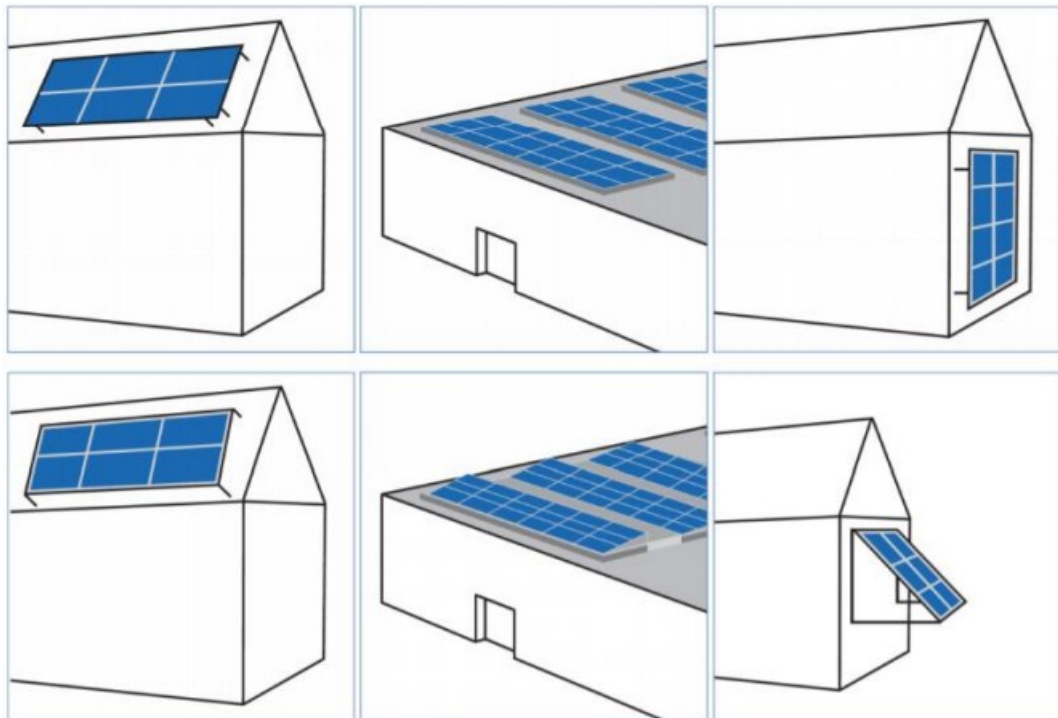
covať v roztoku, čo môže znížiť náklady na výrobu článkov. OPV používa organické polyméry a molekuly, ktoré vedú a generujú elektrickú energiu, ako sú tie v technológiách displeja organických diód vyžarujúcich svetlo. A pretože organické molekuly môžu byť syntetizované s prispôbenými vlastnosťami, OPV zariadenia môžu mať rôzne farby alebo byť priehľadné. To je relevantné pre trh fotovoltaiky integrovanej do budov, ktorý sa snaží nahradiť stavebné materiály fotovoltaickými materiálmi pri výrobe okien a fasád. Výskumníci pracujú na zlepšení životnosti a účinnosti zariadenia a na zmiernení vizuálnych efektov starnutia. [8]

1.4 Konštrukcia fotovoltaických panelov

Pri aktuálnych technológiách sú panely buď namontované na objekte pomocou konštrukcie alebo slúžia ako náhrada stavebných materiálov a teda sa vizuálne stávajú súčasťou objektu. Podľa CFPA-E (2018b) sú fotovoltaické systémy buď integrované (BIPV - Building Integrated Photovoltaics) alebo stavebne aditívne (pripojené) systémy (BAPV - Building Additive Photovoltaics).

1.4.1 Prídavné fotovoltaické systémy (BAPV)

Prídavné fotovoltaické systémy (BAPV) sú pripojené FV systémy. Solárne panely sú upevnené na plášť budovy alebo na konštrukciu uchytenu o strechu alebo fasádu budovy. Obrázok 2 predstavuje príklady rôznych systémov BAPV systémov inštalovaných buď na streche budovy alebo na fasáde. [12]

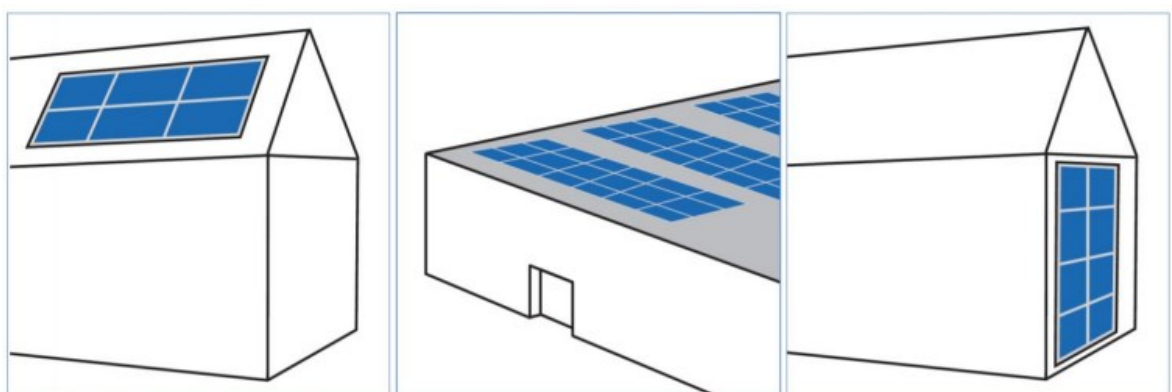


Obrázok 2 – príklady inštalácií BAPV systémov [12]

Montážny systém systému BAPV často pozostáva z nosného rámu a FV moduly tak možno ukotviť k rámu. Rám je ukotvený k budove.

1.4.2 Integrované fotovoltaické systémy (BIPV)

Integrované fotovoltaické systémy (BIPV) systémy tvoria súčasť plášťa budovy, čo znamená, že sú integrované do strechy alebo fasády. Obrázok 3 predstavuje príklady systémov BIPV inštalovaných na streche alebo fasáde budovy.



Obrázok 3 – príklady inštalácií BIPV systémov [12]

Na rozdiel od systémov BAPV musí systém BIPV spĺňať FV funkciu a aspoň jednu z konštrukčných funkcií, napríklad ochrana pred počasím, tepelná ochrana alebo elektromagnetické tienenie. [12]

Medzinárodná energetická agentúra (IEA) v roku 2018 skúmala a porovnávala rôzne medzinárodné normy na vypracovanie definície systémov BIPV. Oddelili pojmy Modul BIPV a systém BIPV. Na záver vyvodili tieto definície:

Modul BIPV je FV modul a stavebný výrobok spolu, navrhnutý tak, aby bol a súčasť budovy. Produkt BIPV je najmenšia (elektricky alebo mechanicky) nedeliteľná fotovoltaická jednotka v systéme BIPV, ktorá si zachováva funkčnosť súvisiacu s budovou. Ak by bol produkt BIPV demontovaný, musel by byť nahradený vhodnou konštrukciou alebo stavebným materiálom.

Systém BIPV je fotovoltaický systém, v ktorom FV moduly spĺňajú vyššie uvedenú definíciu pre produkty BIPV. Zahŕňa elektrické komponenty potrebné na pripojenie FV modulov, externé AC alebo DC obvody a mechanické montážne systémy potrebné na integráciu BIPV výrobkov do budovy.

Systémy BIPV majú širšiu škálu využitia ako systémy BAPV. Systémy BIPV je možné aplikovať na zakrivené povrchy, môžu byť vyrobené na mieru, môžu byť rôznych farieb alebo môžu byť priehľadné a integrované do okien.

Môžu byť vyrobené aj z pružného materiálu. V Európe je v súčasnosti okolo 200 rôznych produktov na trhu a očakáva sa, že inštalovaná kapacita presiahne 11 GW v roku 2020.

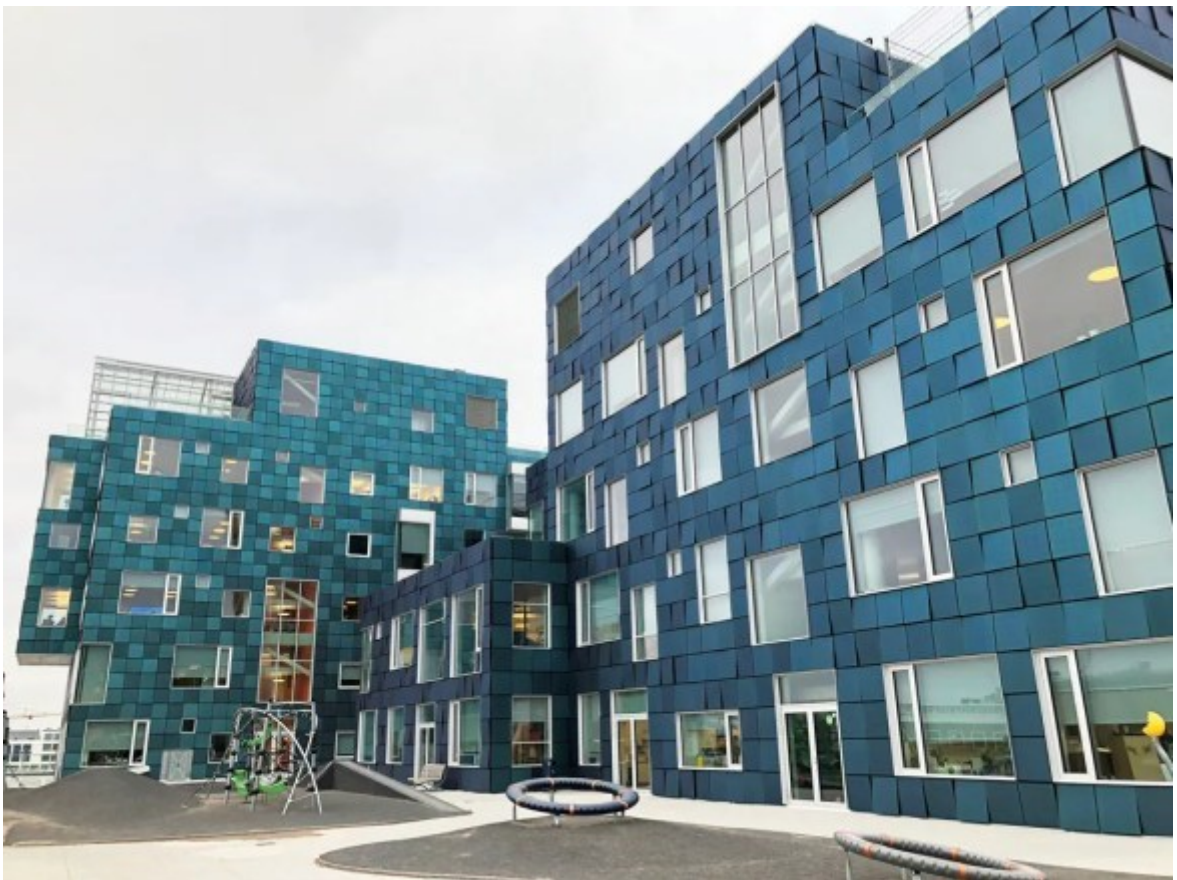
[13]

Systémy BIPV sa často vyvíjajú na nahradenie inej časti plášťa budovy, napr. strechy alebo fasády. Moduly a panely sú preto často navrhnuté tak, aby replikovali vymenený materiál. Ako je vidieť na obrázku 4, FV články môžu byť integrované do strešných škridiel.



Obrázok 4 – obrázky vľavo od stredu zobrazujú BIPV panely, pričom na obrázky vpravo zobrazujú bežné strešné krytiny. [14]

Príkladom budovy s unikátnym systémom BIPV je škola v Kodani, viď. Obrázok 5. Keď bol systém uvedený do prevádzky v januári 2017, bol to najväčší BIPV systém na fasáde na svete.



Obrázok 5 - Fasáda kodanskej medzinárodnej školy [15]

Fasáda je pokrytá 12 000 solárnymi fotovoltaickými modulmi a má inštalovaný výkon 720 kW. [15]

1.5 Fotovoltaický menič

Funkcia FV meniča:

1. Jednosmerný prúd sa vedie cez transformátor.
2. Transformátor zníži napätie a zmení jednosmerný na striedavý prúd.
3. DC beží cez dva alebo viac tranzistorov.
4. Tieto sa rýchlo zapínajú a vypínajú, aby napájali dve rôzne strany transformátora.

Existujú tri hlavné typy solárnych meničov – reťazcové meniče, mikromeniče a optimalizátory výkonu:

Reťazcové meniče

Reťazcové meniče sú najstaršou formou meničov, využívajúce osvedčenú technológiu, ktorá sa používa už desaťročia. Solárne panely sú usporiadané do skupín alebo radov, pričom každý panel je inštalovaný na „reťazci“. K jednému meniču je možné pripojiť viacero reťazcov, ktoré premieňajú jednosmerný prúd produkovaný panelmi na striedavý prúd vhodný pre spotrebiče.

Nevýhodou reťazcových meničov je, že ak sa zníži výkon jedného panelu – napríklad poškodením alebo zatienením, môže to ovplyvniť výkon celého poľa.

Mikro meniče

Mikro meniče sa stávajú populárnou voľbou v rezidenčných solárnych systémoch. Tie sú namontované na každom jednotlivom solárnom paneli a premieňajú jednosmerný prúd na striedavý prúd na streche, čím sa odstraňuje nutnosť samostatného meniča.

Pretože sa konverzia vykonáva týmto spôsobom, ak je jeden alebo viac panelov ovplyvnených tieňom, nemá to vplyv na panely, ktoré sú stále na slnku. Je tiež možné monitorovať úroveň výkonu každého jednotlivého solárneho panelu.

Mikro meniče sa často považujú za spôsob inštalácie viacerých solárnych panelov na strechu. Panely, ktoré môžu byť počas niektorého dňa v čiastočnom tieni, neovplyvnia výkon ostatných panelov, ktoré zostávajú väčšinu času na slnku.

Mikro meniče sú stále relatívne novou technológiou a sú vo všeobecnosti drahšie ako iné typy meničov, avšak tieto dodatočné náklady môžu byť kompenzované zvýšenou výrobou energie. [16]

Optimalizátory výkonu

Na každom jednotlivom paneli sa nachádzajú aj optimalizátory výkonu, ktoré ponúkajú mnohé z výhod mikromeničov, ale sú o niečo lacnejšie. Ale namiesto konverzie jednosmerného prúdu na striedavý prúd na úrovni strechy presunú jednosmerný prúd do reťazcového meniča. S optimalizátormi výkonu by ste mali byť schopní sledovať výkon každého panelu prostredníctvom online portálu.

Hybridné meniče

Tieto meniče tvoria základ hybridného solárneho FV energetického systému. V časoch, keď sa generuje prebytočná energia, hybridný solárny systém ponúka možnosť predat' prebytočnú elektrinu späť do siete alebo uskladniť obnoviteľnú energiu v batérii.

Solárna akumulátorová batéria potom môže poskytovať energiu. Vyžaduje si to inštaláciu hybridného meniča a batérie s potrebným softvérom a prepínačmi. Tieto často nie sú štandardné, takže je potreba požiadať dodávateľa, aby ich zahrnul do ponuky. [17]

1.6 Batérie vo fotovoltaických systémoch

Solárne batérie, tiež známe ako systémy na skladovanie solárnej energie alebo solárne energetické banky, sú zariadenia, ktoré dokážu uchovávať elektrickú energiu generovanú solárnymi panelmi na neskoršie použitie. Solárne batérie uchovávajú energiu, keď slnko svieti, a sprístupňujú uloženú energiu na použitie, keď slnko zapadá.

Solárne batérie môžu pomôcť zvýšiť spoľahlivosť solárnych energetických systémov poskytovaním záložnej energie počas výpadkov prúdu a znížením potreby spoliehať sa na elektrickú sieť.

Bežné typy solárnych batérií sú zaplavené a uzavreté olovené batérie, solárne batérie Li-FePO₄, lítium-iónové, nikel-kadmiové a prietokové batérie. Tieto rôzne typy solárnych batérií majú svoje výhody aj najvhodnejšiu oblasť použitia. [18]

1.7 Konektory

FV konektory sú malé zariadenia, ktoré inštalatéri používajú na spojenie modulov a iných častí solárneho fotovoltaického systému. Spájajú káble, ktoré prenášajú elektrickú energiu generovanú modulmi, a sú tak dôležitou súčasťou všetkých fotovoltaických systémov.

Solárne konektory a káble sú navrhnuté tak, aby vytvárali bezpečné spojenia. Tieto spojenia sa dosahujú mnohými rôznymi spôsobmi v závislosti od typu zvoleného konektora. To zahŕňa uzamykacie mechanizmy, ktoré bránia odpojeniu, kryty odolné voči poveternostným vplyvom a ďalšie.

Dnes sú k dispozícii rôzne typy solárnych konektorov, z ktorých každý má iné konštrukčné vlastnosti. Na základe ich vlastností a ďalších faktorov, ako je napríklad značka, sa tieto konektory predávajú v mnohých variáciách. Tu je šesť hlavných typov konektorov FV panelov: MC5, MC4, MC3, Tyco, Amphenol a Radox. [19]

1.8 Káble

Vďaka technologickému pokroku vo FV systémoch boli vyvinuté rôzne aj typy solárnych káblov. Na trhu najviac prevládajú: FV kábel, USE 2 kábel a THHN kábel ale dostupných je aj mnoho ďalších, podľa cieľového použitia a umiestnenia káblu.

Hliník alebo meď: Dva bežné materiály vodičov používané v rezidenčných a komerčných solárnych inštaláciách sú meď a hliník. Meď má väčšiu vodivosť ako hliník, preto prenáša viac prúdu ako hliník pri rovnakej veľkosti.

Hliník môže byť počas inštalácie oslabený, najmä počas ohýbania, je však lacnejší ako medené drôty. Nepoužíva sa na vnútorné rozvody domov. [20]

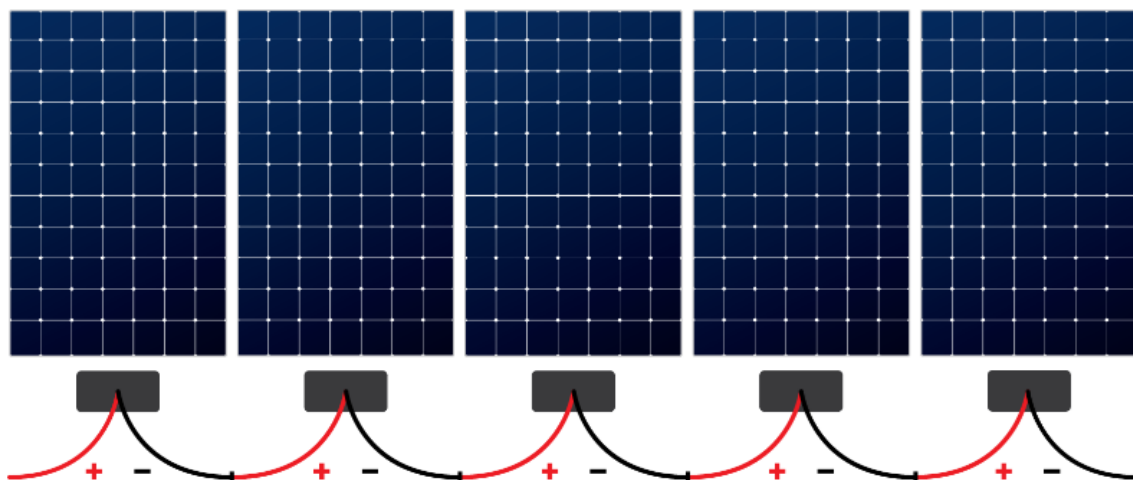
1.9 Zapojenie fotovoltaických panelov

Zapojenie fotovoltaických panelov ma viacero možností. Môžu byť zapojené buď do série, paralelne alebo hybridným spôsobom kedy sa využijú oba typy zapojenia. Aby solárne pole fungovalo čo najlepšie, je potrebné dosiahnuť kritickú rovnováhu napätia a prúdu. Takže vo väčšine prípadov solárny inštalatér navrhne solárne pole s hybridom sériového a paralelného pripojenia. V reťazcoch sú panely zapojené väčšinou do série a samotné reťazce môžu byť prepojené paralelne.

1.9.1 Zapojenie do série

Pre zapojenie solárnych panelov do série, je potreba pripojiť kladný pól na prvom paneli k zápornému pólu na ďalšom atď. Výsledné napätie bude súčtom všetkých napätí panelov v sérii. Celkový prúd sa však bude rovnať výstupnému prúdu jedného panelu. [21]

Solárne panely zapojené v sérii



Obrázok 6 – Zapojenie solárnych panelov v sérii [vlastný]

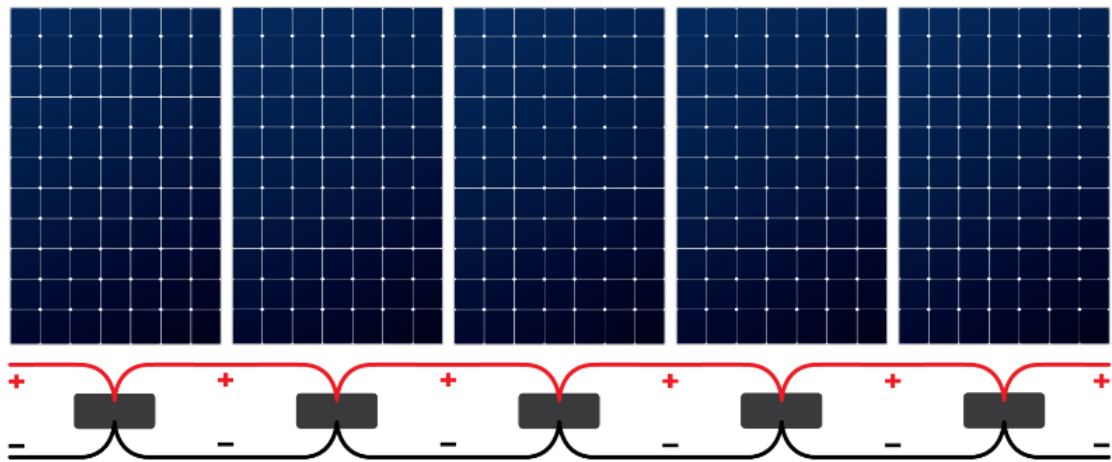
Solárne panely v sérii sú optimálne v netienených podmienkach. Ak tieniaci objekt pokrýva jeden panel sériového poľa, zníži to výkon celého systému.

Výhodou sériového zapojenia je, že sa pri vyššom napätí sa elektrická energia prenáša ľahko na veľké vzdialenosti.. Nižší prúd umožňuje používať káble s menším priemerom, ktoré sú lacnejšie a ľahšie sa s nimi pracuje.[22]

1.9.2 Paralelne zapojenie

Paralelné zapojenie solárnych panelov spôsobuje zvýšenie prúdu, ale napätie zostáva rovnaké. Ak sú teda paralelne pripojené rovnaké panely, napätie systému by zostalo na 40 voltoch, ale prúd by sa zvýšil.[23]

Solárne panely zapojené paralelne



Obrázok 7 - Zapojenie solárnych panelov paralelne [vlastný]

Solárne panely pracujú paralelne nezávisle na sebe, a preto sú najlepšou voľbou pre zmiešané svetelné podmienky. Ak tieniaci objekt pokrýva jeden alebo dva vaše panely, zostávajúce panely v poli budú naďalej generovať energiu podľa očakávania. Takisto sú ideálne pre malé objekty, napríklad pre karavany.[22]

Pre väčšie objekty je toto zapojenie nevýhodné, vyšší prúd znamená ťažšie a drahšie káble s ktorými sa zle manipuluje. Takisto v prípade hrubých káblov na dlhšie vzdialenosti sú pri nízkom napätí veľké straty.[24]

2 ZÁKLADNÁ KONFIGURÁCIA A BEZPEČNOSTNÉ PRVKY FVE

V predošlej kapitole boli popísané základné princípy FV systémov a taktiež boli rozobrané jednotlivé súčasti FV systémov ako aj ich konštrukcia a zapojenie. Po uvedení základných informácií ku všetkým komponentom FV systémov je ďalším krokom ich konfigurácia.

2.1 Dostupné konfigurácie FVE

Pri vytváraní solárnej elektrickej inštalácie je nevyhnutné mať na pamäti výber správnej konfigurácie. V tejto časti práce je priblížených päť rôznych konfigurácií, ktoré sú k dispozícii:

1. Autonómna (taktiež známa ako off-grid) konfigurácia bez možnosti nabíjania zo siete.
2. Autonómna (off-grid) konfigurácia s možnosťou nabíjania energie zo siete.
3. Sieťový systém, ktorý dodáva všetku elektrickú energiu zo slnečnej energie do siete (grid-tie).
4. Sieťový adaptér, ktorý dodáva do siete len prebytočnú elektrickú energiu zo slnečnej energie.
5. Sieťový adaptér so záložnou batériou (grid-interactive). [25]

2.1.1 Autonómna (off-grid) konfigurácia bez možnosti nabíjania zo siete.

Samostatné solárne inštalácie predstavujú prevládajúcu voľbu pre nasadenie solárnej energie na celom svete a slúžia ako základný kameň pre napájanie vzdialených lokalít, kde sú alternatívne zdroje energie vzácne alebo nedostupné. Primárnym cieľom solárnej fotovoltaickej technológie je práve splniť túto potrebu.

Funkčne samostatný solárny systém funguje tak, že využíva slnečné žiarenie prostredníctvom fotovoltaických panelov, premieňa ho na elektrickú energiu a následne sa táto energia ukladá v batériách, čím sa vytvára zásobník energie pre využitie podľa potreby.

Samostatné systémy typicky vykazujú skromný rozsah, charakterizovaný ich relatívne obmedzenou kapacitou výroby energie, často dosahujúcou vrchol pod hranicou jedného kilowattu. Vďaka tejto skromnej škále sú samostatné nastavenia všestranné a prispôsobiteľné nespočetnému množstvu aplikácií, čo z nich robí optimálnu voľbu pre rôzne projekty.

Vzhľadom na ich flexibilitu a škálovateľnosť sa často odporúča začať s kompaktným a nekomplikovaným samostatným systémom. Tento prístup umožňuje postupné zoznámenie

sa s solárnymi technológiami a ponúka ideálnu platformu pre experimentovanie a vzdelávanie vo viacerých oblastiach projektovania. [25]

2.1.2 Autonómna (off-grid) konfigurácia s možnosťou nabíjania energie zo siete.

Funkcia nabíjania elektrickej energie zo siete sa ukazuje ako optimálna v scenároch, kde samotná solárna energia nespĺňa požiadavky domácnosti, pretože systémy vybavené touto schopnosťou môžu automaticky dopĺňať solárnu energiu sieťovým striedavým prúdom, aby sa batéria automaticky dobila. [26]

2.1.3 Sieťový systém, ktorý dodáva všetku elektrickú energiu zo slnečnej energie do siete (grid-tie).

Grid-tie solárne systémy sa ukázali ako populárna voľba na európskom aj americkom trhu vďaka rôznym stimulom, vrátane grantov, zameraných na kompenzáciu nákladov na inštaláciu. Tento prístup zahŕňa integráciu solárneho nastavenia s existujúcou sieťovou infraštruktúrou, čo umožňuje, aby sa všetka elektrina generovaná FV systémom dodávala do siete. V dôsledku toho sa môžete efektívne stať dodávateľom elektriny, ktorý bude predávať vyrobenú energiu energetickým spoločnostiam v rámci schém výkupných cien (FiT - výkupná tarifa).

Programy FiT sa v jednotlivých regiónoch a krajinách líšia a ich dostupnosť závisí od vládnych politík a regulačných rámcov. V jurisdikciách, kde sú zavedené schémy FiT, miestne energetické spoločnosti nakupujú elektrinu od výrobcov solárnej energie za vopred stanovené sadzby za kilowatthodinu (kWh). Tieto sadzby môžu byť buď nariadené vládou, často stanovené ako prémiové sadzby na stimuláciu prijatia solárnej energie, alebo môžu byť dohodnuté medzi poskytovateľmi elektriny a výrobcami solárnej energie.

Cieľom schém FiT je stimulovať prijatie obnoviteľných zdrojov energie, ako je solárna energia, a podporovať decentralizovanú výrobu energie.

Je však nevyhnutné poznamenať, že dostupnosť a štruktúra programov FiT sa na celom svete výrazne líši. Zatiaľ čo niektoré regióny ponúkajú výrobcovi solárnej energie veľkorysé stimuly a dlhodobé zmluvy, iné môžu mať zavedené obmedzené alebo žiadne systémy FiT. [26]

2.1.4 Sieťový adaptér, ktorý dodáva do siete len prebytočnú elektrickú energiu zo slnečnej energie.

Zavedenie takéhoto systému umožňuje domácnosti pracovať na slnečnej energii počas denného svetla, pričom akýkoľvek prebytok generovanej energie je bezproblémovo dodávaný do siete. Počas večerov a nocí, keď produkcia solárnej energie klesá, nasleduje konvenčné obstarávanie elektriny od poskytovateľov služieb.

Solárne inštalácie ponúkajú výhodu zníženia závislosti od veľkých energetických spoločností a zároveň podporujú environmentálne udržateľnejší model výroby elektriny. Pozoruhodnou nevýhodou väčšiny nastavení siete je ich zraniteľnosť voči výpadkom napájania, pri ktorých je tiež prerušená výroba solárnej energie.

Napriek tomu konfigurácie siete demonštrujú optimálny výkon v regiónoch charakterizovaných horúcim slnečným podnebím, kde dopyt po elektrine často vrcholí súčasne s dostatkom slnečného svetla, najmä v dôsledku prevládajúceho používania klimatizačných systémov. Okrem toho sú tieto systémy obzvlášť vhodné pre domácnosti, ktoré prevažne spotrebúvajú vyrobenú elektrinu. [26]

2.1.5 Sieťový adaptér so záložnou batériou (grid-interactive).

Toto nastavenie integruje konfiguráciu sieťového prepojenia s batérovou bankou, čím ponúka všestranné energetické riešenie. Podobne ako pri konvenčných sieťových nastaveniach sa elektrina generovaná solárnym panelom využíva počas denného svetla, pričom prebytočná energia sa predáva energetickým spoločnostiam. Na rozdiel od štandardných sieťových systémov však zahrnutie batérovej banky slúži ako záložný plán počas výpadkov napájania a zabezpečuje nepretržitý prístup k napájaniu z vlastného systému.

Špecifické obvody vo objekte sú označené ako "chránené obvody", ktoré zaručujú nepretržené napájanie základných funkcií, ako je osvetlenie, chladenie a ovládanie kúrenia v prípade výpadku prúdu.

Pri dlhotrvajúcich scenároch straty energie existuje možnosť začleniť do interaktívneho systému siete ďalšie zdroje energie, ako napríklad generátor. To zlepšuje funkčnosť záložného systému a transformuje ho na vysoko účinný zdroj nepreušovaného napájania (UPS), ktorý dokáže udržať prevádzku po dlhú dobu.

Implementácia grid-tie systému so zálohou napájania znamená vyššie náklady v porovnaní so štandardnými sieťovými nastaveniami, vďaka zahrnutiu batérií a ovládačov batérií. Pri-

danie zálohy napájania zvyčajne zvyšuje náklady o 12–20 % v porovnaní so štandardným sieťovým systémom. Avšak, podobne ako v prípade tradičných konfigurácií siete, prebytočnú energiu možno v určitých regiónoch predať späť energetickým spoločnostiam, umožní generovať príjem z vlastného solárneho energetického systému. [26]

2.2 Bezpečnostné prvky FVE

V tejto kapitole sú predstavené najčastejšie FV riziká a bezpečnostné prvky ktoré môžu pomôcť k ich eliminácii.

Väčšinu základných bezpečnostných funkcií v sebe zahŕňa FV menič.

1. Ochrana proti prepätiu DC strana: Meniče monitorujú vstupné jednosmerné napätie zo solárnych panelov a majú zabudované mechanizmy na ochranu pred nadmernými úrovňami napätia. Ak je prekročený bezpečný prevádzkový rozsah, menič sa nesmie spustiť alebo musí zastaviť do 0,1 s (pri chode) a súčasne bude vydaný varovný signál. Keď sa napätie na strane DC vráti do povoleného prevádzkového rozsahu meniča, menič by mal byť schopný normálneho spustenia a prevádzky.
2. Nadprúdová ochrana: Meniče obsahujú nadprúdovú ochranu na ochranu pred nadmerným prietokom prúdu v systéme. Táto ochrana môže zabrániť potenciálnym rizikám, ako sú elektrické požiare alebo poškodenie meniča a iných komponentov systému.
3. Ochrana proti zemným poruchám: Meniče často obsahujú ochranné mechanizmy proti zemným poruchám pri akomkoľvek úniku prúdu do zeme. Ak zistí poruchu uzemnenia, odpojí sa systém od siete, aby sa predišlo bezpečnostným rizikám a elektrickým nebezpečenstvám.
4. Ochrana proti prepólovaniu: Meniče majú zavedené opatrenia na detekciu a ochranu proti prepólovaniu spojov. Táto ochrana zabezpečuje, že DC vstup do solárnych panelov je správne pripojený k meniču.
5. Ochrana proti prehriatiu: Meniče sú vybavené ochranou proti prehriatiu, aby sa zabránilo prehriatiu. Ak teplota meniče stúpne nad stanovenú hranicu, automaticky sa zníži výstupný výkon alebo sa zapne ventilátor, aby sa ochránili vnútorné komponenty pred tepelným poškodením.
6. Ochrana proti ostrovčeku: V prípade výpadku v sieti, keď zariadenie proti ostrovčeku stratí napájanie buď na strane siete alebo na fotovoltaiickej strane, rýchlo vyše

vypínací signál do ističa pripojeného k sieti, čo umožní, aby sa istič otvoril na ochranu personálu údržby na oboch stranách fotovoltaiického systému.

7. Prepäťová ochrana AC strana: Meniče často obsahujú zariadenia na ochranu proti prepätiu, ktoré chránia pred prepätím alebo prechodným napätím. Tieto zariadenia pomáhajú chrániť ďalšie pripojené zariadenia pred poškodením úderom blesku, prepätím alebo poruchou siete.
8. Komunikácia a monitorovanie: Mnohé meniče sú vybavené komunikačnými rozhraniami a monitorovacími funkciami. Tieto funkcie umožňujú vlastníkom systému alebo inštalátorm monitorovať výkon meniča, sledovať produkciu energie a poskytovať informácie pre prípadné problémy alebo poruchy. [27]

Ďalším základným bezpečnostným prvkom ktorý vyžadujú Slovenské normy STN je vypínač na strane striedavého prúdu. Konkrétne, aby fotovoltaiické systémy obsahovali vhodné vypínacie zariadenia, ktoré umožňujú bezpečné odpojenie od elektrickej siete v prípade potreby, ako napríklad pri údržbe alebo núdzových situáciách. Vypínače musia byť schopné odpojiť všetky prívody elektrickej energie, aby sa predišlo riziku úrazu elektrickým prúdom alebo poškodeniu zariadení. [28]

2.2.1 Šok alebo usmrtenie elektrickým prúdom z vodičov pod napätím

Rovnako ako pri inej výrobe elektrickej energie, fotovoltaiické systémy predstavujú riziko úrazu elektrickým prúdom. Už len malý prúd o veľkosti len 75 miliampérov (mA) cez srdce je smrteľný. Ľudské telo má odpor asi 600 ohmov. Podľa Ohmovho zákona sa napätie (V) rovná prúd (I) krát odpor (R), takže $V = I \cdot R$.

Ak chceme vypočítať množstvo prúdu, ktorý by prešiel telom osoby, ak by bol vystavený 120 V, jednoducho vydělíme $120V / 600 \text{ ohm}$ ($I = V/R$), čo je celkovo 0,2 ampérov alebo 200 mA. To je viac ako 2,5-násobok smrteľného limitu 75 mA, takže ochrana pracovníkov pred takouto udalosťou je kritická.

Elektrické šoky sú zvyčajne spôsobené skratom spôsobeným skorodovanými káblami a spojmi, uvoľneným vedením a nesprávnym uzemnením. Medzi kľúčové miesta, kde treba hľadať tieto poruchy vo FV systéme, patrí zlučovacia skrinka, vodiče FV zdroja a výstupného obvodu a uzemňovací vodič zariadenia. Uzemňovací vodič spája všetky kovové komponenty dohromady – a prípadne aj so zemou – cez vodič uzemňovacej elektródy a uzemňovaciu elektródu. [29]

2.2.2 Vznik oblúkov, ktoré spôsobujú požiare

Ako pri každom elektrickom systéme, požiar je vždy potenciálne nebezpečenstvo. Snád jednou z najčastejších príčin je vznik elektrického oblúka, čo je vysokovýkonný výboj elektriny medzi dvoma alebo viacerými vodičmi. Teplo spôsobené týmto výbojom môže spôsobiť zhoršenie izolácie drôtu a tým spôsobiť iskru alebo „oblúk“, ktorý spôsobí požiar.

FV systémy sú vystavené sériovým oblúkovým poruchám spôsobeným prerušením kontinuity vodiča alebo paralelným oblúkovým poruchám spôsobeným neúmyselným prúdom medzi dvoma vodičmi, často v dôsledku zemného spojenia.

Oblúková porucha môže viesť ku skratu alebo zemnej poruche, ale nemusí byť dostatočne silná na spustenie ističa alebo prerušovača zemného obvodu (GFCI). Na ochranu pred oblúkovými poruchami je potrebné nainštalovať zásuvku prerušovača obvodu pri vzniku oblúka (AFCI) alebo istič AFCI. AFCI detekujú nízke úrovne nebezpečných oblúkových prúdov a vypnú obvod alebo zásuvku, aby sa znížila pravdepodobnosť, že takáto porucha oblúka spôsobí elektrický požiar. [29]

2.2.3 Oblúkový záblesk vedúci k výbuchom

Veľké FV polia so strednými a vysokými úrovňami napätia sú náchylné na oblúkový záblesk. To platí najmä vtedy, keď technik kontroluje chyby v zlučovacích skrinách pod napätím, kde sú obvody FV zdrojov kombinované paralelne na zvýšenie prúdu, a pri kontrole rozvádzačov a transformátorov stredného až vysokého napätia. Oblúkový záblesk uvoľňuje horúce plyny a koncentrovanú energiu žiarenia až do štvornásobku teploty slnečného povrchu – až 35 000 °F (~19 500 °C). Vyskytuje sa, keď je k dispozícii veľké množstvo energie pre oblúkovú poruchu, a to v jednosmerných aj striedavých vodičoch.

Oblúkový blesk je problémom pre systémy nad 400 V, takže sú ohrozené rezidenčné meniče, ktoré majú zvyčajne maximálne vstupné napätie 500 V, ako aj veľké meniče, ktoré majú maximálne 1500 V. Pred príchodom rozsiahlych systémov solárnej energie sa oblúkový blesk považoval výlučne za problém so striedavým prúdom, pretože jednosmerné napätie bolo obmedzené na aplikácie mimo siete, kde sa používali batérie s napätím nižším ako 100 V.

Zmiernenie oblúkového výboja vo fotovoltaických systémoch je rozdelené na jednosmerný (pred meničom) a striedavý prúd (za meničom). Zmiernenie na strane jednosmerného prúdu pre veľké solárne polia (100 kW a viac) je obzvlášť dôležité v zlučovacom boxe, kde sa

paralelne kombinuje viacero reťazcov solárnych panelov, aby sa zvýšil prúd. Na zníženie možnosti vzniku oblúkového výboja môžu rozsiahle systémy používať viacreťazcové meniče, ktoré môžu samé spájať viacero reťazcov paralelne, namiesto použitia jedného alebo dvoch veľkých centrálnych meničov, ktoré vyžadujú zlučovacie boxy. Zmiernenie na strane striedavého prúdu zahŕňa rozvádzač odolný voči oblúku, ktorý presmeruje energiu oblúkového záblesku cez hornú časť krytu, preč od personálu a vybavenia. [29]

2.2.4 Vhodné vybavenie pri testovaní zariadení

Vybavenie podľa kategórie CAT: Multimeter určený pre príslušnú kategóriu merania (kategória CAT) a napäťovú úroveň aplikácie. Multimeter musí byť schopný odolať priemerným úrovňam napätia, vysokonapäťovým špičkám a prechodným javom, ktoré môžu spôsobiť šok alebo vytvoriť oblúkový záblesk. Prepäťová kategória III - 1500V, systémy sa stávajú novým normálom v solárnom systéme.

Úvahy o vysokej nadmorskej výške: Pre fotovoltaické systémy vo vysokých nadmorských výškach sa musia používať zariadenia CAT III a IV, pretože vzduch sa pri stúpaní stáva menej izolačným a menej hustým, čo znižuje jeho chladiacu schopnosť. To znamená, že prierazné napätie - minimálne napätie spôsobujúce, že sa izolátor stane elektricky vodivým - klesá s nadmorskou výškou. Napríklad pre 1-centimetrovú medzeru medzi vodičmi by prierazné napätie bolo 30 kV na úrovni mora a iba 1,2 kV vo výške 15 000m.

Vysokokvalitné meracie káble: Použitie meracích káblov, ktoré majú hodnotenie CAT, aby sa zhodovali alebo prevyšovali hodnotenie CAT digitálneho multimetra.

Výmena poistiek s vysokou spotrebou energie: Poistky s vysokou spotrebou energie musia byť nahradené rovnako kvalitnými dielmi a menovitým prúdom. Tieto poistky sú navrhnuté tak, aby udržali energiu generovanú elektrickým skratom v poistkovej skrinke. Zachraňujú životy a nikdy by sa nemali nahrádzať lacnejšími generickými poistkami.

Sondy a príslušenstvo k sondám: Použitie zasúvateľných sond, krytov hrotov sond alebo sond s kratšími hrotmi, aby bol znemožnený náhodný dotyk kovu na kov a spôsobenie skratu.

Osobné ochranné prostriedky: Vhodné OOP vrátane odevu s ochranou proti oblúku, rukavice, bezpečnostné okuliare alebo ochranné okuliare, ochrana sluchu a kožená obuv, ako to vyžaduje napätie, ktoré je prítomné.

Toto sú len hlavné body, ako bezpečnejšie pracovať s FV systémami. Pri testovaní alebo údržbe akéhokoľvek elektrického zariadenia je potreba dodržiavať všetky príslušné bezpečnostné normy a predpisy, pokyny výrobcov a bezpečnostné postupy spoločnosti. [29]

3 PRÍČINY POŽIAROV FVE

Projekty využívajúce solárnu energiu na výrobu elektrickej energie, bez ohľadu na to, či ide o menšie rozptýlené solárne elektrárne alebo väčšie centralizované solárne elektrárne na pozemkoch, prinášajú so sebou isté riziká. Nehody súvisiace so solárnou energetikou nie sú zriedkavé, aj keď sa o nich doteraz hlásilo len málo správ. Napríklad po požari solárnej elektrárne v závode spoločnosti Apple nastal veľký rozruch v odvetví aj mimo neho. Cena akcií Apple prudko klesla, pričom spoločnosť utrpela veľké straty.

3.1 Požiar vo fotovoltaickej elektrárni

Keď v solárnej elektrárni dochádza k požiaru, voda nie je vhodným prostriedkom na jeho hasenie. Ak je solárna elektráreň umiestnená na streche továrne alebo obytných budov, existuje tiež riziko ohrozenia osobnej bezpečnosti.

Existuje mnoho faktorov, ktoré môžu spôsobiť požiarne nehody v solárnych elektrárňach, vrátane nasledujúcich aspektov:

- 1) opotrebovanie alebo poruchy zariadení a káblov, vedúce k skratu;
- 2) nesprávny výber a inštalácia poistiek a ističov, čo môže viesť k vzniku elektrického oblúka;
- 3) chybná konštrukcia systému, nedostatočná prúdová zaťažiteľnosť káblov alebo spínačov a vysoká miestna teplota;
- 4) nesprávne pripojenie, uvoľnené skrutky elektrických zariadení, nedostatočné spojenie káblov a nadmerný prechodový odpor na určitých miestach, napríklad príliš utiahnutá skrutka a deformovaný konektor kábla počas montáže môžu spôsobiť príliš veľký prechodový odpor na konektore.

Okrem toho sú solárne elektrárne vystavené riziku poškodenia pri prírodných katastrofách, ako sú tajfúny, blesky, sneh, piesok a prach. Pri návrhu solárnej elektrárne je dôležité zohľadniť miestne klimatické podmienky a možné účinky prírodných katastrof, aby sa mohli správne navrhnuť a vybrať vhodné typy zariadení.

Príkladom môže byť solárna elektráreň v meste Wenchang v provincii Hainan (Čína), ktorú postihol tajfún a takmer všetky jej časti utrpeli škody. Centrálny menič solárnej energie, inštalovaný v dvoch miestnostiach s oceľovou konštrukciou, bol však včas odpojený a tým sa ho podarilo uchrániť pred poškodením. [30]

3.2 Riziko výbuchu

Aj keď v fotovoltaickej elektrárni dochádza len málo k výbuchom, ich vplyv na bezpečnosť obsluhy a personálu údržby je veľmi významný. Väčšinou sú tieto výbuchy spôsobené poruchou IGBT a kondenzátora v meniči. Výbuch kondenzátora je veľmi silný a môže dokonca preraziť oceľový plech s hrúbkou až 2 mm. Je nevyhnutné, predchádzať takýmto nehodám vo fotovoltaickej elektrárni ešte predtým, ako sa stane niečo vážne. Podľa vynálezcu lietadlových turbín, Nemca Pabbsa, každá vážna nehoda je len vrcholom ľadovca a predchádzajú jej mnohé menšie a takmer nehody, ba dokonca aj potenciálne nehody. Tento koncept bezpečnostných pravidiel, známy ako "Hainovo pravidlo", pripomína, že prevencia je vždy lepšia ako náprava. [30]

3.3 Na čo si dať pozor

Podobne ako v prípade elektrickej siete v domácnostiach, aj tu existujú určité riziká, ale ich výskyt je možné minimalizovať rôznymi ochrannými opatreniami. Pri návrhu fotovoltaickej elektrárne je dôležité zohľadniť bezpečnostné opatrenia už od začiatku, aby sa predišlo potenciálnym nehodám. Kvôli komplexným príčinám havárií vo fotovoltaických elektrárňach nie je možné všetky tieto príčiny jednoducho vymenovať. Tu sú však uvedené niektoré typické príklady na čo dať pozor. [30]

3.3.1 Použitie vhodného ističa

Pri elektrickom ohni sa rýchlosť šírenia ohňa pohybuje veľmi rýchlo a môže okamžite poškodiť zariadenia v systéme. V prípade elektrického požiaru je dôležité rýchlo prerušiť napájací okruh, ktorý je ohrozený. Poistka, známa tiež ako istič, môže rýchlo prerušiť obvod v prípade skratu, čím sa minimalizujú potenciálne škody. Pri výbere poistky je však potrebné venovať pozornosť niekoľkým dôležitým aspektom:

- Prúdové zaťaženie poistky by malo byť primerané. Ak je prúd príliš nízky, môže to spôsobiť nevhodnú reakciu. Naopak, príliš vysoký prúd nezaručuje účinnú ochranu.
- Hlavnými príčinami skratov, oblúkov a iskrových skratov sú poškodenie izolácie vodičov, ako je starnutie izolácie, zníženie mechanických vlastností, poškodenie izolácie v dôsledku prepätia, chybná manipulácia alebo vedenie poruchového prúdu, poškodenie kovovej izolácie vodičov nárazom cudzích predmetov pri silnom vetre alebo poškodenie zvierateľom. Zlý kontakt môže viesť k nadmernému precho-

dovému odporu, lokálnemu prehriatiu, vzniku oblúka a elektrických iskier, čo môže spôsobiť požiar.

- Poistka umiestnená vo vnútri zlučovacej skrinky by mala byť vybavená špeciálnym keramickým jadrom a odpovedajúcou ohňovzdornou a oblúkovo odolnou základňou. Nikdy by sa nemala používať poistka s odhaleným jadrom a doska plošných spojov by mala byť správne navrhnutá a zabezpečená. [30]

3.3.2 Plán na ochranu fotovoltaického systému pred bleskom

Pri solárnom fotovoltaickom systéme určenom na výrobu energie je dôležité predchádzať priamemu zásahu bleskom, indukcii blesku a vstupu bleskových vln. Priama ochrana pred bleskom zahŕňa opatrenia na ochranu solárnych článkov a celej fotovoltaickej elektrárne. Na dosiahnutie tohto cieľa sa najčastejšie používajú bleskozvody. Hlavnou cestou pre indukcii blesku a prenikanie bleskových vln je príchod vodivého prúdu z nadzemného vodiča a fotovoltaického poľa do miestnosti so zariadeniami. Preto by mali byť prijaté viacúrovňové ochranné opatrenia na ochranu fotovoltaického systému na výrobu energie. Bleskoistka je typicky inštalovaná v zlučovacom boxe, meniči a rozvodnej skrini pre striedavý prúd.

Veľmi kritickým aspektom je tiež správne uzemnenie fotovoltaického systému. Na jednej strane je to nevyhnutnosť na ochranu systému pred bleskom, zatiaľ čo na druhej strane je to potreba odstránenia statickej elektriny zo zariadení. Pri stavbe je nevyhnutné dodržiavať prísne normy. Je znepokojujúce, že mnohé distribuované fotovoltaické projekty nevenujú tomuto aspektu dostatočnú pozornosť. Ak nie je uzemňovací vodič správne nainštalovaný, ochrana pred bleskom bude neúčinná. [30]

3.4 Predzvest' možnej havárie vo fotovoltaickej elektrárni

V porovnaní s nebezpečnými chemickými skladmi a závodmi je bezpečnostný štandard fotovoltaickej elektrárne relatívne vysoký. Ak sa pri počiatočnom návrhu systémovej schémy zohľadnia klimatické faktory, zvolia sa kvalitné zariadenia a kladie sa dôraz na kvalitu konštrukcie, môže sa výrazne minimalizovať riziko havárie. Pred akoukoľvek závažnou haváriou sa zvyčajne objavia varovné príznaky a menšie incidenty. Prevádzka a údržba fotovoltaickej elektrárne si vyžadujú pravidelné monitorovanie a riešenie drobných problémov, aby sa predišlo väčším haváriám.

- 1) Kontrola teploty zariadenia, káblov a konektorov je dôležitá. Pri správnom návrhu zariadenia by mali mať medené tyče, káble a konektory dostatočnú odolnosť voči prúdu. Počas bežnej prevádzky by teplota nemala neprimerane stúpnuť. Teplota môže byť skontrolovaná pomocou infračerveného snímača. Ak však kábel starne a izolácia je poškodená, môže dôjsť k miestnemu zvýšeniu teploty.
- 2) Sledovanie zmien v prúde a napätí je tiež dôležité. Ak je výkon generovaný určitým obvodom výrazne nižší ako v ostatných, ale neexistujú žiadne prekážky a komponenty sú v poriadku, je potrebné skontrolovať a odpojiť obvod, kým sa situácia neupraví.
- 3) Zmeny vo zvuku môžu byť príznakom problému. Pri správnej prevádzke meniča by mal byť zvuk ventilátora stabilný. Ak sa zmení zvuk, môže to naznačovať blokáciu vzduchového potrubia alebo poruchu ventilátora.
- 4) Sledovanie zmien vo farbe komponentov je ďalším zo spôsobov detekcie problémov. Ak sa farba elektrických zariadení zmení, napríklad zčerná, môže to byť znakom poškodenia a vyžaduje si to bližšie preskúmanie.
- 5) Zmena vône, najmä vôňa spáleniny, by mala byť okamžite zaznamenaná a stroj by mal byť zastavený na kontrolu. [30]

3.5 Požiar fotovoltaických panelov

Jedna z najbežnejších vecí, ktorá sa u FV panelu môže stať, sa nazýva hot spot – horúce miesto. Blízke prenosové vedenia okolo areálu FV alebo v rámci FV elektrárne môžu spôsobiť tienenie FV modulu. Podobne môžu pôsobiť blízke veterné turbíny na FV poliach. Tienenie znižuje celkovú produkciu elektriny FV panelov a môže vytvárať tepelný hot spot, čo má za následok dlhodobú degradáciu. Niektoré výskumy uvádzajú, že tieto tiene spôsobujú poruchy spojovacích diód a požiarne nebezpečenstvo. Viac ako 80 % z nehôd FV modulov sú spôsobené čiastočným zatienením. Komerčne výrobca poskytuje na výrobok a výkon záruku 25 rokov až 30 rokov. Ak sú však solárne panely inštalované v tienennom priestore, záruka sa stráca. [31]

3.5.1 Problematika horúcich miest (hot spots)

Pri efekte tienenia, kde tieň padá na sekciu modulu, spôsobuje tieň, že elektrická energia aspoň jedného alebo viacerých reťazcov článkov v module klesne na nulu, výstup celého modulu však na nulu neklesne. FV články priamo premieňajú svetelnú energiu na jednos-

merný elektrický prúd a majú komplikované vzťahy medzi slnečným žiarením, teplotou a celkovým odporom. Výsledkom toho je, že vykazujú nelineárne charakteristickú krivku známou ako F–V krivka.

Obrázok 8 zobrazuje FV moduly s obtokovými diódami naprieč každým modulom a blokovacími diódami v hornej časti každého reťazca. Ak je jeden z panelov zatienený, pôsobí ako zábrana a blokuje tok energie vyrobenej zo samotného panelu a energie vyrobenej netieneným panelom.

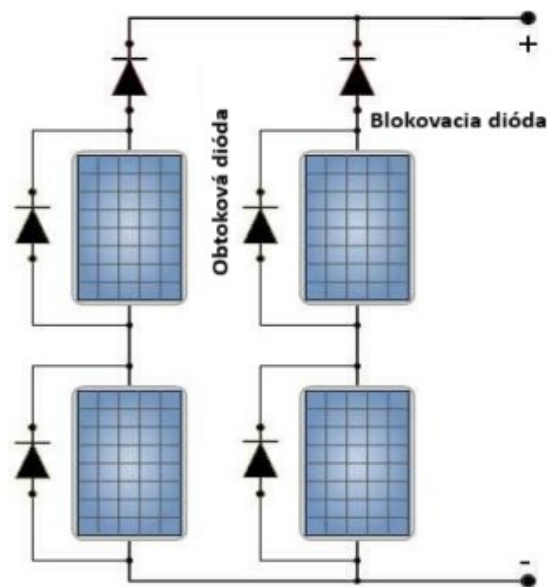
Preto vstupuje do systému obtoková dióda. Prúd vytvorený pomocou netieneného panelu môže prúdiť cez obtokovú diódu, aby sa predišlo vysokému odporu tieneného panelu. Obtokové diódy sú zapájané paralelne s panelmi a používajú sa, pokiaľ sú panely zapojené do série na generovanie vyššieho napätia.

Ako obtokové diódy vo FV paneloch a poliach sú k dispozícii dva typy diód: PN-prechodová silikónová dióda a Schottkyho bariérová dióda. Obe sú k dispozícii so širokou škálou aktuálnych hodnotení. Schottkyho bariérová dióda má oveľa nižší úbytok napätia približne 0,4 voltu v porovnaní s PN diódami 0,7 voltového poklesu pre kremíkové zariadenie.

Tento nižší pokles napätia umožňuje úsporu jedného plného FV článku v každej sériovej vetve solárneho poľa, preto je pole efektívnejšie, pretože v blokovacej dióde sa rozptýli menej energie. Väčšina výrobcov zahŕňa do svojich solárnych panelov blokovacie diódy aj bypass diódy, čo zjednodušuje dizajn. [32]

Keď svieti slnko, napätie generované panelmi je väčšie ako napätie batérie. V tme však panely nevytvárajú žiadne napätie. Napätie batérie by teda spôsobilo prechod prúdu cez panely v opačnom smere. Blokovacie diódy teda zabraňujú vybitiu batérie. Blokovacie diódy sa zvyčajne podieľajú na konštrukcii solárnych panelov. Obtokové diódy teda chránia panely a zabraňujú horúcim miestam v zatienených článkoch zapojených do série, zatiaľ čo blokovacie diódy zabraňujú spätný prúd odoberaný tieneným reťazcom.

Funkcia nežiadúceho vybíjania batérií panelmi je však zvyčajne zabudované do regulátora nabíjania. [33]



Obrázok 8 – Umiestnenie obtokových a blokovacích diód [vlastný]

3.6 Zvýšený počet požiarov FV v ČR a SR

Česká komora autorizovaných inžinierov a technikov pôsobiacich vo výstavbe informovala, že počas prvých šiestich mesiacov v roku 2023 zaznamenala celkovo až 45 prípadov požiarov fotovoltaických inštalácií. Pre komparáciu, v predchádzajúcich rokoch sa ročne vyskytovalo približne 15 podobných udalostí.

Komora tento nárast počtu požiarov pripisuje zvýšeniu neodborných inštalácií a použitiu zariadení nízkej kvality. Rovnako ako Komora, aj Slovenská asociácia pre fotovoltaickú energetiku (SAPI) dlhodobo upozorňuje na riziká spojené s novými inštaláciami, či už ide o možné škody na majetku alebo ohrozenie zdravia. Všetkých záujemcov preto vyzýva, aby si nechali fotovoltaické systémy nainštalovať odborne a výhradne od overených spoločností. S cieľom predchádzať podobným udalostiam na Slovensku, SAPI predstavila na začiatku tohto roka Kódex inštalátora fotovoltaických energetických systémov ako praktickú príručku, ktorou by sa mali riadiť všetci inštalatéri pred, počas a po dokončení inštalácie. [34]

4 PRAVNE NORMY

Legislatíva a predpisy týkajúce sa fotovoltaických systémov možno nájsť buď v medzinárodných normách a smerniciach alebo vo vnútroštátnych právnych predpisoch. V nasledujúcej časti sú uvedené rôzne predpisy, smernice a normy požiarnej bezpečnosti týkajúce sa preventívnych opatrení FV systémov.

4.1 Slovenská republika

Pre fotovoltaické (FV) systémy platia v Slovenskej republike nasledujúce normy a smernice:

- STN EN 62446: Táto norma sa týka overovania FV (fotovoltaických) inštalácií v spojitosti s elektrickou bezpečnosťou. Poskytuje smernice pre overovanie a monitorovanie FV inštalácií, vrátane ich návrhu, inštalácie, údržby a opráv.
- STN EN 50618 - Táto norma sa špecificky venuje solárnym káblom pre fotovoltaické systémy. Zahŕňa požiadavky na konštrukciu, rozmery, mechanické a elektrické vlastnosti, ako aj na skúšky odolnosti voči vonkajším podmienkam.
- STN EN 62446 - Táto norma poskytuje požiadavky na dokumentáciu, skúšky a údržbu fotovoltaických systémov. Je dôležitá pre zabezpečenie správnej funkčnosti a bezpečnosti inštalovaných systémov.
- STN EN 61215 - Definuje požiadavky na dizajn kvalifikácie a schválenie fotovoltaických modulov. Je zameraná na testovanie trvanlivosti a výkonu modulov v rôznych klimatických podmienkach.
- STN EN 61730 - Táto norma sa zaoberá bezpečnostnými požiadavkami na fotovoltaické moduly, pokrýva konštrukčné aspekty a požiadavky na prevádzkovú bezpečnosť.
- STN EN 62109 - Normy sa zaoberajú bezpečnostnými požiadavkami na meniče a iné zariadenia na konverziu energie v rámci fotovoltaických systémov.
- STN EN 62423 - Obsahuje pravidlá pre uzemňovanie a ochranu pred úrazom elektrickým prúdom v solárnych inštaláciách.
- Smernica Národnej siete pre elektrické rozvody (NSEE): Táto smernica určuje technické požiadavky a normy pre pripojenie fotovoltaických zariadení do elektrickej siete.

- Smernica Slovenského energetického regulačného úradu (ÚRSO): ÚRSO vydáva smernice a nariadenia týkajúce sa distribúcie a využitia energie zo solárnych zdrojov, vrátane fotovoltaických systémov. [28]

4.2 Česká republika

V Českej republike platia pre fotovoltaické (FV) systémy tieto normy a smernice:

- ČSN EN 62446-1+A1: Táto norma sa týka overovania FV (fotovoltaických) inštalácií v spojitosti s elektrickou bezpečnosťou. Poskytuje smernice pre overovanie a monitorovanie FV inštalácií, vrátane ich návrhu, inštalácie, údržby a opráv.
- ČSN EN 61730: Táto norma sa zaoberá bezpečnosťou fotovoltaických modulov pre inštaláciu. Stanovuje požiadavky na konštrukciu, výkonnosť a bezpečnosť fotovoltaických modulov.
- ČSN EN 60364: Táto norma sa týka nízkonapäťových elektrických inštalácií v budovách. Aj keď nie je špecificky zameraná na FV systémy, poskytuje všeobecné smernice pre elektrické inštalácie, ktoré môžu byť aplikované aj na FV systémy.
- Smernice Českého energetického regulačného úradu (ČERÚ): ČERÚ vydáva smernice a nariadenia týkajúce sa distribúcie a využitia energie zo solárnych zdrojov, vrátane fotovoltaických systémov.
- Český normový systém (ČSN): ČSN obsahuje rôzne normy a smernice, ktoré môžu byť aplikované aj na FV systémy, napríklad požiadavky na elektrické inštalácie, ochranu pred požiarom a bezpečnostné predpisy. [35]

4.3 Európska Únia

Národné organizácie pracujúce s požiarou prevenciou, ochranou, bezpečnosťou a zabezpečením FV systémov v Európe spolupracujú v združení s názvom Konfederácia požiarnej ochrany asociácie Európy (CFPA-E). CFPA-E vytvára spoločné smernice týkajúce sa požiarnej ochrany, prírodných rizík a bezpečnosti. Ich cieľom je dosiahnuť podobný výklad v európskych krajinách a uviesť príklady prijateľných riešení, konceptov a modelov. [12]

Slovenské a České normy sa vo všeobecnosti riadia normami, ktoré sú vydávané Konfederáciou európskych asociácií požiarnej ochrany (CFPA-E). CFPA-E vydáva smernice a odporúčania týkajúce sa požiarnej ochrany, ktoré sú aplikovateľné na úrovni celej Európy.

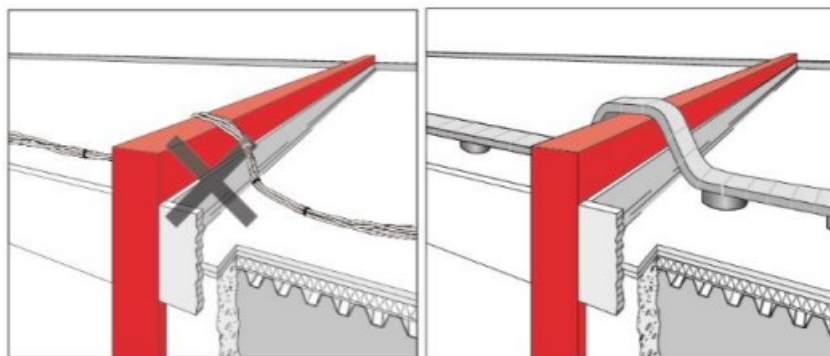
Tieto smernice sa zaoberajú rôznymi aspektmi požiarnej ochrany vrátane bezpečnostných opatrení a preventívnych stratégií pre fotovoltaické systémy.

CFPA-E vypracovala smernicu (CFPA-E, 2018b) týkajúcu sa odporúčaní FV systémov a prevencii strát. Nasledujúce časti predstavujú zhrnutie odporúčaní v smernici považovaných za najrelevantnejšie pre prácu. [12]

4.3.1 Odporúčania týkajúce sa elektrických komponentov

Smernica na začiatku uvádza, že fotovoltaické systémy a ich komponenty by mali spĺňať požiadavky pre všeobecne uznávané pravidlá pre elektrické inštalácie. Deväť európskych noriem týkajúcich sa elektrických inštalácií odporúčajú, že by mali byť FV systémy chránené pred bleskom a prepätím.

Smernica ďalej uvádza, že komponenty s horľavými prvkami, ako sú káble, nemôžu prechádzať cez požiarne steny. Ak to nebolo možné dosiahnuť, káble musia byť inštalované v ohňovzdorných káblových kanáloch alebo šachtách, pozri obrázok 9.



Obrázok 9 - Káble prechádzajúce požiarou stenou by mali byť chránené proti požiaru. [12]

Smernica ďalej navrhuje, aby hasičské zbory boli schopné odpojiť napájanie z FV modulov. Požiarne vypínač by mal byť umiestnený v blízkej a ľahko dostupnej lokácii. [12]

4.3.2 Odporúčania týkajúce sa umiestnenia, prístupu na strechu a značenia

Smernica obsahuje nasledujúce odporúčania týkajúce sa umiestnenia solárneho FV systému:

- Solárne FV systémy inštalované na strechách by mali byť umiestnené v minimálnej vzdialenosti 2,5 m z každej strane k požiarnej stene. Vzdialenosť však môže byť znížená po požiarnej konzultácii.

- Súvislé oblasti inštalácie a rady solárnych FV panelov by mali byť rozdelené v dostatočnej šírke, aby sa zabezpečil prístup pre hasičské operácie a údržbu. FV systém by nemal presiahnuť šírku 40m a vzdialenosť medzi FV systémami by mala byť aspoň 5 m.
- Ak sú na streche inštalované systémy na odvod dymu a/alebo tepla, FV systém musí byť v dostatočnej vzdialenosti od nich. Príklady dostatočných vzdialeností sú uvedené v smernici.
- Ak sú fotovoltaické systémy namontované na fasádach, musia byť dodržané príslušné požiadavky z hľadiska šírenia požiaru po fasáde. FV systém na fasáde by mal spĺňať rovnaké požiadavky ako zvyšok fasády.
- Budovy s fotovoltaickými systémami by mali byť vybavené informatívnym značením. Značky by mali byť umiestnené na:
 - počiatku elektroinštalácie;
 - polohe merača (ak je vzdialená od počiatku);
 - rozvodnej skrini, ku ktorej je pripojené napájanie z meniča.

Mali by byť poskytnuté značky, ktoré nasmerujú personál požiarnej záchranej služby na miesto, kde sa nachádza požiarne vypínač. [12]

4.4 Nemecko

Podľa správy o globálnom stave obnoviteľných zdrojov 2020 od REN21 (Sieť politiky obnoviteľnej energie pre 21. storočie) je Nemecko krajinou s najväčšou inštalovanou solárnou fotovoltaickou kapacitou.

[36]

Právny rámec nemeckého zákona o obnoviteľnej energii (EEG) zahŕňa súčasné normy a požiadavky na komponenty solárnych FV systémov v Nemecku. Sepanski a kol. (2015) prezentujú vo svojej správe zoznam najdôležitejších noriem v súvislosti s FV systémami z EEG. Zoznam obsahuje štandardy a požiadavky na FV moduly, FV meniče, montážny systém a DC komponenty. Celkom je uvedených a stručne popísaných približne 50 noriem a smerníc. Informácie dostupné pre túto prácu týkajúce sa nemeckých predpisov boli sústredené v tabuľke 2. [37]

4.5 Švédsko

Vo Švédsku neexistujú žiadne súčasné právne predpisy a nariadenia týkajúce sa solárnych fotovoltaických systémov. Bezpečnosť v prípade požiaru stavebných prác je však regulovaná prostredníctvom záväzku ustanovenia a všeobecného odporúčania v stavebných predpisoch Boverketu (BBR). Smernice boli vyvinuté s cieľom dosiahnuť podrobnú interpretáciu toho, ako by mali byť solárne fotovoltaické systémy nainštalované a aké bezpečnostné požiadavky by mali byť splnené. Požiadavky uvedené v aktoch a usmerneniach relevantných pre štúdiu sú premietnuté do tabuľky 2. [38]

4.6 USA

Národná asociácia požiarnej ochrany (NFPA) je globálna organizácia pre kódexy a normy so sídlom v USA. NFPA poskytuje informácie a znalosti týkajúce sa požiaru elektrických zariadení. [39]

Solárne FV systémy sú riešené v piatich rôznych kódexoch a štandardoch vyvinutých NFPA:

- NFPA 1, Požiarny kódex (NFPA, 2017a) stanovuje predovšetkým požiadavky na bezpečnosť hasičov pri požiarnych operáciách. Taktiež upravuje a zdôrazňuje označovanie a prístup k FV systémom;
- Dodatočné požiadavky na solárne FV systémy sa nachádzajú v NFPA 70 - Národnom elektrickom zákonníku (NFPA, 2016);
- NFPA 70B zahŕňa odporúčanú prax pre údržbu elektrických zariadení (NFPA, 2018);
- NFPA 70E udáva štandard pre elektrickú bezpečnosť na pracovisku (NFPA, 2017b);
- Nakoniec sa zaoberá NFPA 5000 Stavebný a bezpečnostný kódex (NFPA, 2017c) požiadavkami na solárny FV systém. [39]

Zhrnutie požiadaviek vo vyššie uvedených kódexoch považované za najrelevantnejšie pre štúdiu je spracované do tabuľky 2.

4.7 Dubaj

Dubajský úrad pre elektrinu a vodu zverejnil odporúčania pre DRRG (Generovanie distribuovaných obnoviteľných zdrojov) solárne FV systémy. Odporúčania sú na základe normy

IEC 61730-2, ktorá zahŕňa požiarne test pre FV moduly. S týmto testom sa v malom meradle testuje požiarne odolnosť FV modulov. Testované moduly sú integrované moduly BIPV ale aj bežné FV moduly, ktoré sa montujú na existujúcu strechu. Moduly sú potom klasifikované podľa ich požiarnej odolnosti, kde integrované moduly vyžadujú vyššiu triedu ako montované moduly. [40]

Kritériá návrhu a inštalácie sú rozdelené do piatich častí: Základné požiadavky, Prevencia šírenia požiaru z FVE do vnútra budovy, Minimálna vzdialenosť od dymu výhrevných systémov a otvorov na strechách, núdzové odpojenie a prestupy elektroinštalácie FVE a označovanie. Údaje z odporúčaní dubajského úradu pre elektrinu a vodu sú spracované v tabuľke 2.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 POROVNANIE NORIEM PRE MONTÁŽ FV

V nasledujúcej časti sa nachádzajú výsledky štúdie v ktorej bola porovnaná platná právna úprava a predpisy týkajúce sa fotovoltaických systémov v rôznych krajinách. V tabuľke 2 sú zhrnuté informácie o legislatíve a nariadeniach. Tieto odporúčania sú dôležité, pretože umožňujú lepšie porozumenie súčasných požiadaviek a prípadne ďalších potrieb týkajúcich sa regulácie solárnych fotovoltaických systémov. Okrem toho sa v tabuľke uvádzajú aj odporúčania získané zo špecifických predpisov alebo smerníc týkajúcich sa solárnych fotovoltaických systémov, napríklad požiadavky na káble a vedenie, ktoré môžu byť regulované v rámci predpisov pre elektrické zariadenia.

Tabuľka 2 – porovnanie právnej úpravy a predpisov týkajúcich sa fotovoltaických systémov v rôznych krajinách [vlastný]

Odporúčania týkajúce sa elektrických komponentov	CFPA-E	Nemecko	USA	Švédsko	Dubaj
Kabeláž					
Káble prechádzajúce/prenikajúce cez požiaru stenu by mali byť chránené	X	X			
Jednosmerné (DC) káble > 1m by mali byť chránené proti ohňu / umiestnené vonku		X			
Viditeľné DC-káble - vonku		X		X	
Žiadne DC-káble v núdzových východoch alebo v prístupe hasičského zboru		X			
DC vedenie v uzavretých priestoroch by malo byť chránené			X		
Menič a rýchle vypnutie					
Meniče umiestnené pri vchode alebo vonku		X			
Prístupné pre hasičský zbor (meniče)		X		X	
Umiestnené na nehorľavom materiáli (meniče)		X			
Hasičský spínač/rýchle vypnutie	X		X	X	X
Odporúčania týkajúce sa umiestnenia, prístupu na strechu a značenia (BAPV)					
	CFPA-E	Nemecko	USA	Švédsko	Dubaj
Strešný prístup a chodníky					
Vzdialenosť medzi modulmi a požiarou stenou	X (2.5m)	X (1.25m)			

Voľná cesta medzi panelmi pre prístup hasičov	X	X	X	X	
Maximálna šírka FV systému	X (40m)	X (40m)			
Minimálna vzdialenosť medzi solárnymi FV systémami	X (5m)	X (1m)			
Vzdialenosť medzi modulmi a vetranie na odvod dymu/tepla (na streche)	X		X	X	X
Predpisy o slepej uličke (cesty)			X		
Obvodový chodník na streche		X	X		
Výška medzi modulmi a strechou					X
Panely by sa mali umiestňovať iba na nehorľavú strechu					X
Odporúčania týkajúce sa elektrických komponentov	CFPA-E	Nemecko	USA	Švédsko	Dubaj
Značenie a štítky					
Značenie	X	X	X	X	X
Špeciálne plány pohotovostnej služby na mieste		X		X	
Kontaktné informácie na dohľad kvalifikovaným personálom			X	X	
Ďalšie odporúčania	CFPA-E	Nemecko	USA	Švédsko	Dubaj
FV na fasáde					
FV na fasádach by mali spĺňať tie isté požiadavky ako materiál fasády	X			X	
Moduly					
Testované podľa príslušnej normy			X		X
Priebežne kontroly				X	

Tabuľka 2 poskytuje prehľad odporúčaní týkajúcich sa elektrických komponentov, umiestnenia na streche, označovania a ďalších aspektov fotovoltaiických systémov a porovnáva ich platnosť v rôznych krajinách. Ako je možné už na prvý pohľad pozorovať, Dubaj nemá tak prísne odporúčania aké môžeme pozorovať u iných krajín. Avšak zabezpečuje napríklad testy FV modulov, vrátane BIPV.

Z tabuľky vyplývajú nasledujúce výsledky:

Kabeláž:

- Odporúčania týkajúce sa ochrany káblov prechádzajúcich cez požiarnu stenu platia v norme CFPA-E a v Nemecku.

- V Nemecku je tiež platné odporúčanie týkajúce sa umiestnenia jednosmerných (DC) káblov nad 1 metrom, zatiaľ čo v USA platí odporúčanie týkajúce sa ochrany DC vedenia v uzavretých priestoroch.

Menič a rýchle vypnutie:

- Odporúčania týkajúce sa umiestnenia meničov pri vchode alebo vonku sú platné v Nemecku.
- Hasičský spínač/rýchle vypnutie je odporúčané vo všetkých štátoch zahrnutých do výskumu.

Odporúčania týkajúce sa umiestnenia, prístupu na strechu a značenia (BAPV):

- V Nemecku a v USA platia odporúčania týkajúce sa vzdialenosti medzi modulmi a požiarnou stenou.
- Voľná cesta medzi panelmi pre prístup hasičov platí v Nemecku, USA a Švédsku.

Značenie a štítky:

- Odporúčania týkajúce sa značenia platia pre všetky krajiny.
- Kontaktné informácie na dohľad kvalifikovaným personálom sú platné v USA a Švédsku.

Ďalšie odporúčania:

- Odporúčania týkajúce sa umiestnenia panelov na fasádach platia v Švédsku.
- Moduly testované podľa príslušnej normy sú platné v USA a Dubaji, pričom priebežná kontrola je odporúčaná v Švédsku.

6 SLABÉ ČASTI FV SYSTÉMOV

V tejto časti práce je cieľom zhrnúť a dať do pozornosti všetky slabé časti FV systémov v rámci požiarnej bezpečnosti. Dôležité je spracovať početnosti a pravdepodobnosti jednotlivých porúch a slabých častí systému.

6.1 Údaje o požiaroch FV systémov z rôznych krajín

Aby bolo možné plnohodnotne určiť slabé časti FV systémov v rámci protipožiarnej bezpečnosti, je potreba porovnať údaje z rôznych krajín, ktoré zahŕňajú množstvo požiarov spojených s FV systémami.

6.1.1 Austrália

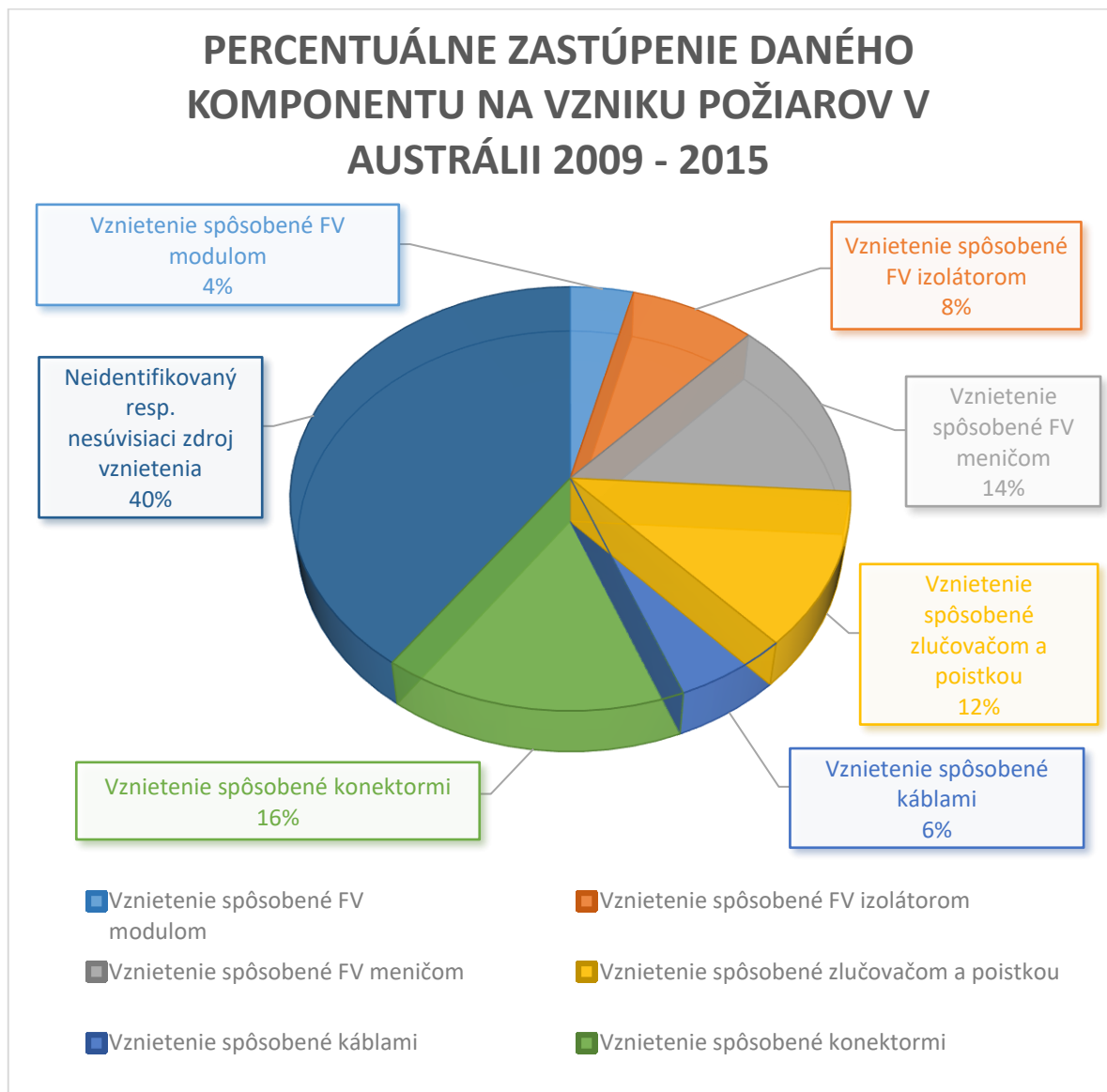
Podľa údajov z AFAC (Národná rada pre požiarne a pohotovostné služby v Austrálii a na Novom Zélande), z roku 2016, bolo celkovo zaznamenaných 400 požiarov týkajúcich sa fotovoltaiických systémov a súvisiacich zariadení v rokoch 2009 až 2015. [41]

Tabuľka 3 - Percentuálne zastúpenie komponentov na vzniku požiarov v Austrálii 2009 – 2015 [41]

Iniciačná príčina požiaru vo FV systéme	Percentuálne zastúpenie daného komponentu na vzniku požiarov v Austrálii 2009 - 2015
Vznietenie spôsobené FV modulom	4%
Vznietenie spôsobené FV izolátorom	8%
Vznietenie spôsobené FV meničom	14%
Vznietenie spôsobené zlučovačom a poistkou	12%
Vznietenie spôsobené káblami	6%
Vznietenie spôsobené konektormi	16%
Neidentifikovaný resp. nesúvisiaci zdroj vznietenia	40%

Tabuľka 3 poskytuje informácie o iniciačných príčinách požiarov vo fotovoltaiických systémoch (FV) v Austrálii v období od roku 2009 do roku 2015, spolu s percentuálnym zastúpením jednotlivých komponentov na vzniku požiarov poskytuje hodnoverné údaje o zdrojoch požiaru FV systémov. Tu je popis jednotlivých príčin a zároveň popis jednotlivých komponentov:

1. Vznetenie spôsobené FV modulom: Tento komponent bol zodpovedný za 4% požiarov. Ide o časť FV systému, ktorá generuje elektrickú energiu zo slnečného žiarenia.
2. Vznetenie spôsobené FV izolátorom: Izolátor FV systému bol príčinou 8% požiarov. Izolátor chráni vnútorné komponenty pred poškodením alebo zlyhaním. Vo FV systéme sa používajú tri izolátory; to zahŕňa strešný izolátor DC, AC izolátor nachádzajúci sa v blízkosti meniča a izolátor DC nachádzajúci sa v blízkosti meniča. DC izolátor na meniči sa nevyžaduje pre všetky solárne FV systémy.
3. Vznetenie spôsobené FV meničom: Menič, ktorý mení striedavý prúd z FV panelov na striedavý prúd vhodný pre použitie v domácnostiach, bol zodpovedný za 14% požiarov.
4. Vznetenie spôsobené zlučovačom a poistkou: Zlučovač a poistka, ktoré chránia systém pred preťažením prúdom, boli príčinou 12% požiarov.
5. Vznetenie spôsobené káblami: Káble, ktoré prenášajú elektrický prúd medzi rôznymi časťami FV systému, boli zodpovedné za 6% požiarov.
6. Vznetenie spôsobené konektormi: Konektory, ktoré spájajú rôzne časti FV systému, boli príčinou 16% požiarov.
7. Neidentifikovaný resp. nesúvisiaci zdroj vznetenia: Táto kategória, ktorá zahŕňa príčiny požiarov, ktoré nie sú spojené s konkrétnymi komponentmi FV systému alebo ktoré neboli identifikované, predstavovala až 40% všetkých požiarov.



Obrázok 10 – Graf percentuálneho zastúpenia komponentov na vzniku požiarov v Austrálii 2009 – 2015 [vlastný]

Pomocou grafu (obrázok 10) je prehľadnejšie zobrazené percentuálne zastúpenie jednotlivých komponentov na vzniku požiarov vo fotovoltaických systémoch (FV) v Austrálii v období od roku 2009 do roku 2015. Porovnávajúc jednotlivé komponenty, môžeme vidieť, že najväčšie percentuálne zastúpenie na vzniku požiarov mal neidentifikovaný resp. nesúvisiaci zdroj vznietenia s 40%, nasledujú konektory, ktoré predstavovali 16% zo všetkých prípadov požiarov, potom vznietenie spôsobené meničom s 14%, zlučovačom a poistkou s 12%, izolátorom FV s 8%, káblami s 6% a nakoniec vznietenie spôsobené FV modulom s 4%.

Keďže v Austrálii je v priebehu roku veľké množstvo požiarov, ktoré dosahujú väčších rozmerov a rýchlo sa šíria, je preto pravdepodobne veľké percento FV požiarov v tejto krajine tvorené práve **neznámym činiteľom** - Neidentifikovaný resp. nesúvisiaci zdroj vznietenia.

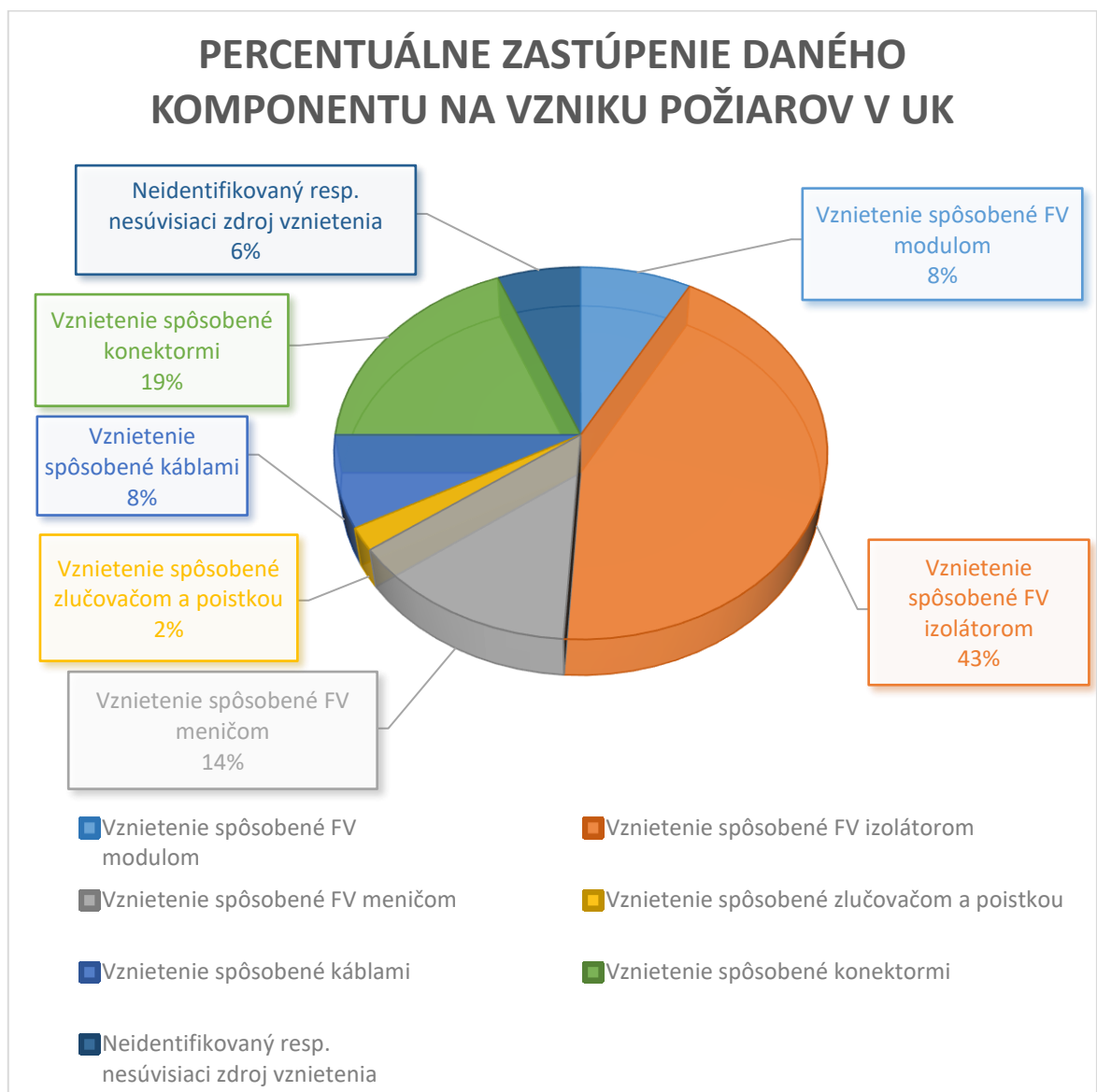
6.1.2 Veľká Británia (UK)

Tabuľka 4 poskytuje pohľad na rôzne zdroje požiarov vo fotovoltaických systémoch a ich relatívne zastúpenie v celkovej štatistike požiarov v UK.

Tabuľka 4 - Percentuálne zastúpenie daného komponentu na vzniku požiarov vo Veľkej Británii [42]

Iniciačná príčina požiaru vo FV systéme	Percentuálne zastúpenie daného komponentu na vzniku požiarov v UK
Vznietenie spôsobené FV modulom	8%
Vznietenie spôsobené FV izolátorom	43%
Vznietenie spôsobené FV meničom	14%
Vznietenie spôsobené zlučovačom a poistkou	2%
Vznietenie spôsobené káblami	8%
Vznietenie spôsobené konektormi	19%
Neidentifikovaný resp. nesúvisiaci zdroj vznietenia	6%

Vyššie uvedená tabuľka prezentuje tak ako tabuľka o údajoch z Austrálie, percentuálne zastúpenie jednotlivých komponentov na vzniku požiarov vo fotovoltaických systémoch vo Veľkej Británii. Každý riadok opisuje iniciačnú príčinu požiaru a percentuálne zastúpenie tejto príčiny medzi všetkými zaznamenanými prípadmi požiarov. Údaje z tabuľky sú popísané pod grafom.



Obrázok 11 - Graf percentuálneho zastúpenia komponentov na vzniku požiarov vo Veľkej Británii [vlastný]

Graf (obrázok 11) prehľadne zobrazuje percentuálne zastúpenie jednotlivých komponentov na vzniku požiarov vo fotovoltaických systémoch (FV) vo Veľkej Británii. Možno vidieť, že najväčšie percentuálne zastúpenie na vzniku požiarov mal FV izolátor so 43%, nasledujú konektory, ktoré predstavovali 19% zo všetkých prípadov požiarov, potom vznietenie spôsobené meničom s 14%, ďalej nasledovalo vznietenie spôsobené FV modulom a káblami, oboje s 8%, neidentifikovaný resp. nesúvisiaci zdroj vznietenia spôsobil 6% požiarov a nakoniec vznietenie spôsobené zlučovačom a poistkou s 2%.

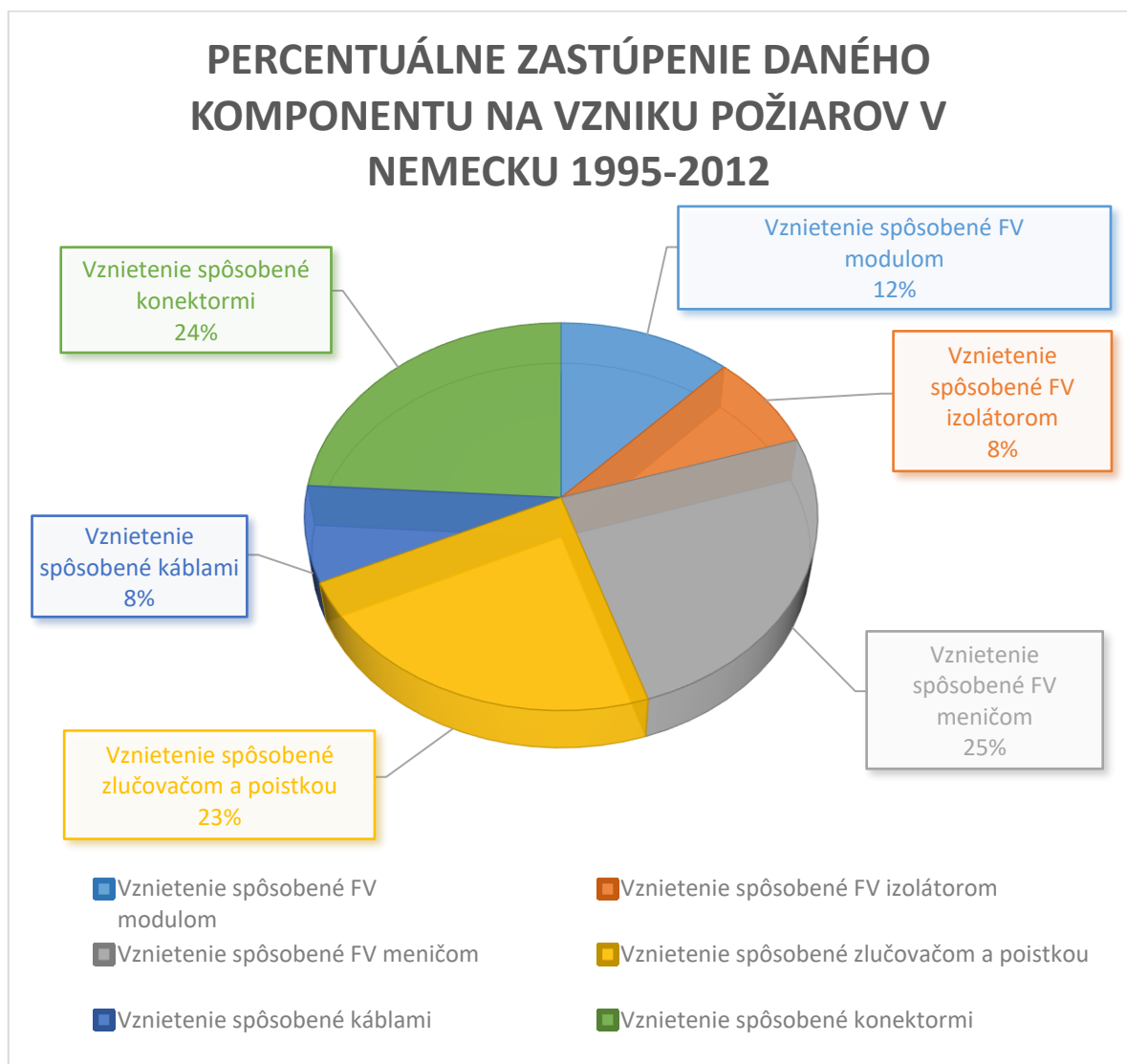
6.1.3 Nemecko 1995 – 2012

Prieskum z roku 2013 analyzoval požiare týkajúce sa fotovoltaiických systémov (vrátane strešných fotovoltaiických systémov a pozemných FV systémov) v Nemecku od roku 1995 do roku 2012. Prieskumom sa zistilo asi 400 prípadov, v ktorých bol FV systém prítomný; v 180 z týchto prípadov bol ako zdroj požiaru určený FV komponent. [43]

Pre zjednodušenie a zjednotenie sú údaje z nasledujúcej tabuľky (tabuľka 5) a grafu k nej (obrázok 12) popísané až za grafom.

Tabuľka 5 - Percentuálne zastúpenie daného komponentu na vzniku požiarov v Nemecku 1995-2012 [43]

Iniciačná príčina požiaru vo FV systéme	Percentuálne zastúpenie daného komponentu na vzniku požiarov v Nemecku 1995-2012
Vznietenie spôsobené FV modulom	12%
Vznietenie spôsobené FV izolátorom	8%
Vznietenie spôsobené FV meničom	25%
Vznietenie spôsobené zlučovačom a poistkou	23%
Vznietenie spôsobené káblami	8%
Vznietenie spôsobené konektormi	24%
Neidentifikovaný resp. nesúvisiaci zdroj vznietenia	N/A



Obrázok 12 - Graf percentuálneho zastúpenia komponentov na vzniku požiarov v Nemecku 1995 – 2012 [vlastný]

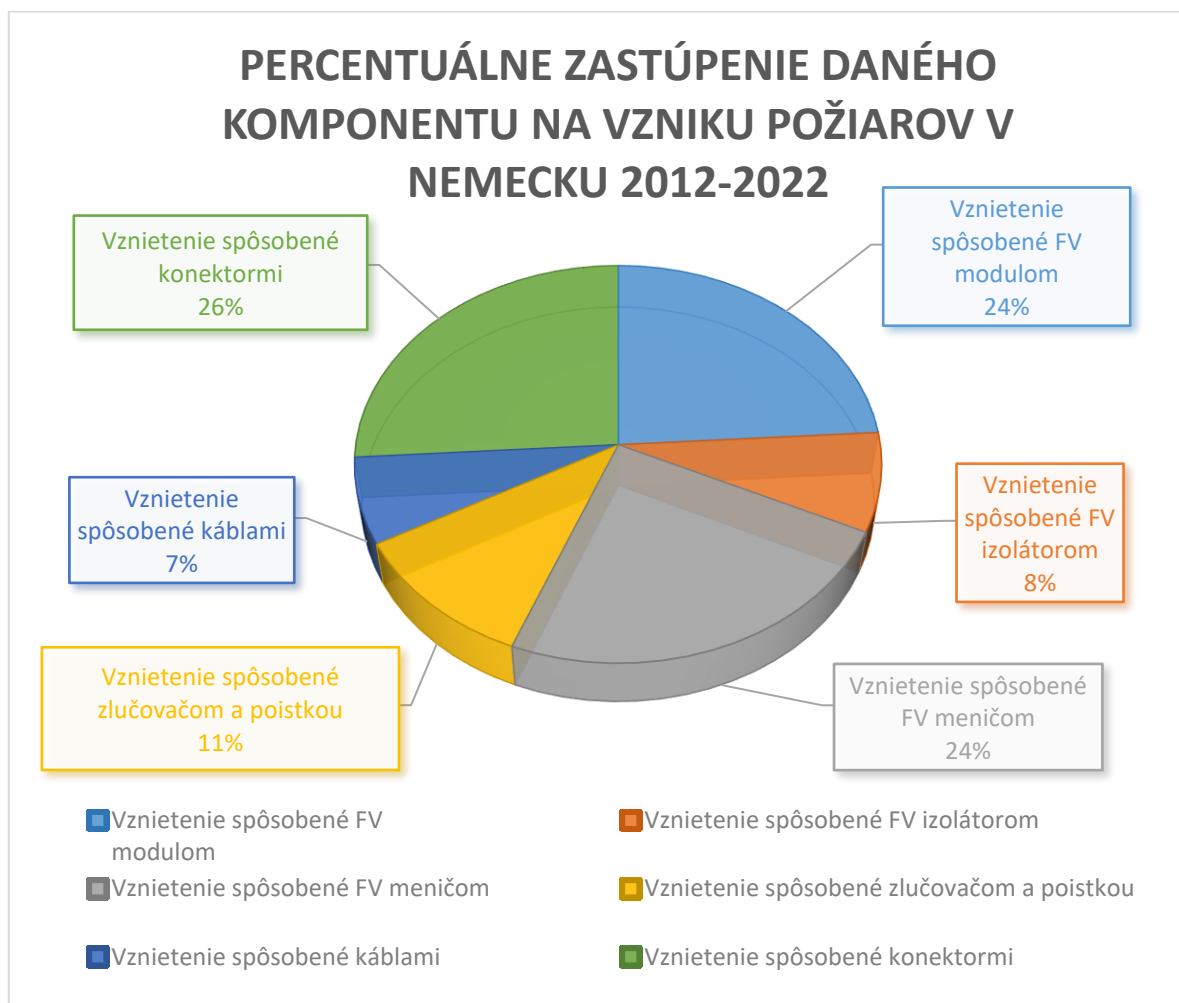
Podľa údajov z tabuľky 5 a koláčového grafu (obrázok 12) prezentujúcich percentuálne zastúpenie jednotlivých komponentov pri vzniku požiarov vo fotovoltaických systémoch v Nemecku v období 1995-2012 môžeme konštatovať, že najčastejšou príčinou požiarov vo fotovoltaických systémoch v Nemecku v uvedenom období boli meniče s 25% zastúpením, nasledované zlučovačmi a poistkami (23%) a konektormi (24%). Menej častými príčinami boli vznietenie spôsobené FV modulmi (12%), káblami (8%) a izolátorom (8%). Neidentifikované resp. nesúvisiace zdroje vznietenia neboli zahrnuté v údajoch. [43]

6.1.4 Nemecko 2012 – 2021

Podľa štúdie z Nemecka skúmajúcej situáciu ohľadom požiarov spôsobených FV komponentami, boli podiely jednotlivých komponentov na požiaroch nasledovné (tabuľka 6).

Tabuľka 6 - Percentuálne zastúpenie daného komponentu na vzniku požiarov v Nemecku 2012-2021 [42]

Iniciačná príčina požiaru vo FV systéme	Percentuálne zastúpenie daného komponentu na vzniku požiarov v Nemecku 2012-2021
Vznietenie spôsobené FV modulom	24%
Vznietenie spôsobené FV izolátorom	8%
Vznietenie spôsobené FV meničom	24%
Vznietenie spôsobené zlučovačom a poistkou	11%
Vznietenie spôsobené káblami	7%
Vznietenie spôsobené konektormi	26%
Neidentifikovaný resp. nesúvisiaci zdroj vznietenia	N/A



Obrázok 13 - Graf percentuálneho zastúpenia komponentov na vzniku požiarov v Nemecku 2012 – 2021 [vlastný]

Údaje z tabuľky 6 a grafu (obrázok 13) o príčinách požiarov vo fotovoltaických systémoch v Nemecku v rokoch 2012 až 2021 poukazujú na nasledovné hodnoty:

Z uvedených údajov vyplýva, že najväčší podiel na vzniku požiarov vo fotovoltaických systémoch malo vznietenie spôsobené FV konektormi s 26%, nasledované vznietením spôsobeným FV modulom a FV meničom s 24%. Menej významné boli prípady vznietenia spôsobeného FV zlučovačom a poistkou (11%), FV izolátorom (8%) a káblami (7%) ktoré mali nižší podiel na vzniku požiarov.

Zdroj: [33]

6.1.5 Priemer

Najdôležitejším krokom k získaniu relevantných údajov bolo spracovanie a spriemerovanie hodnôt z jednotlivých krajín. Spriemerované údaje boli následne vložené do tabuľky

z ktorej bol taktiež vytvorený koláčový graf pre lepšie znázornenie výsledkov a prehľadnosť. Výsledné hodnoty znázorňuje tabuľka 6.

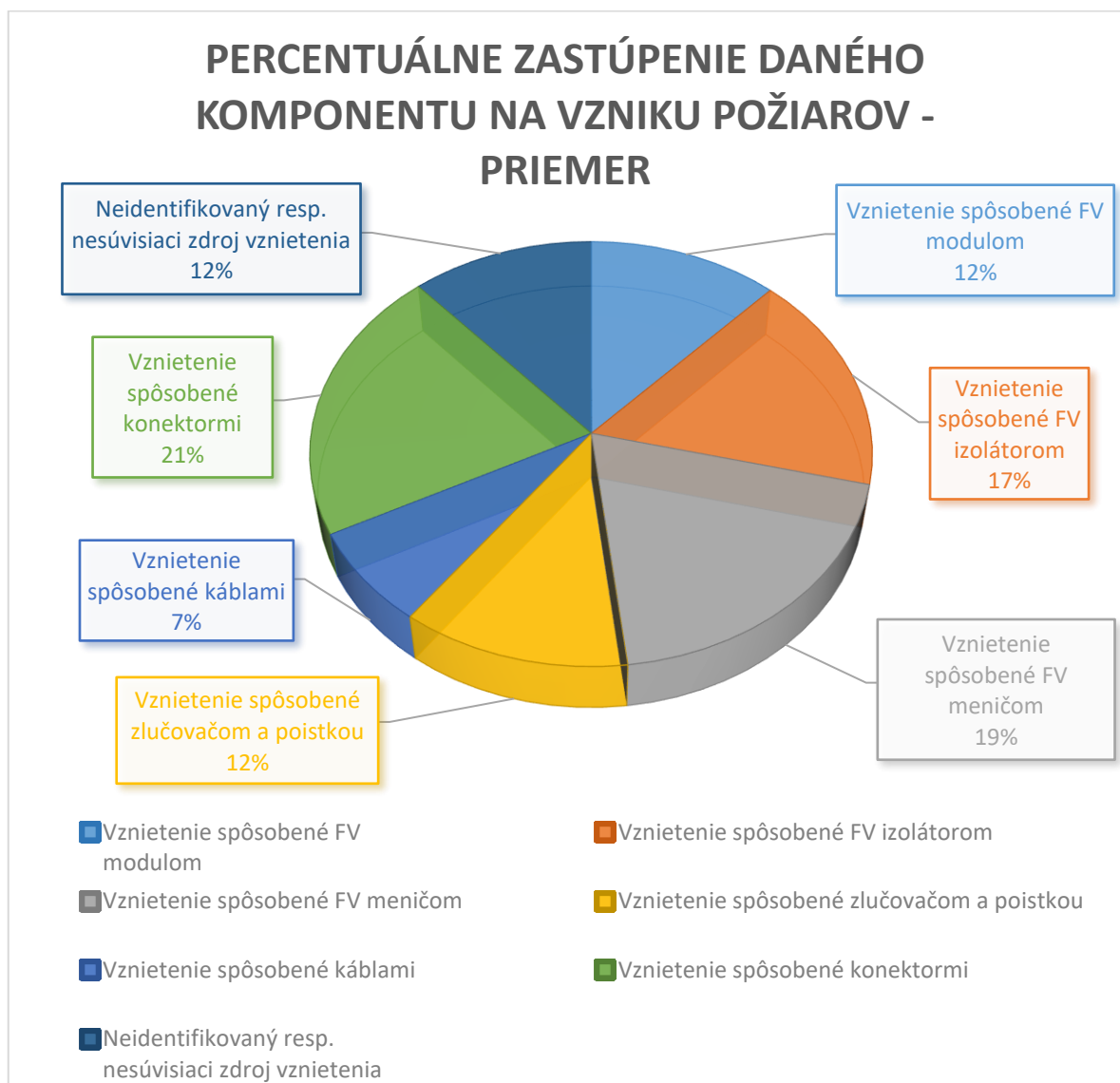
Tabuľka 7 - Percentuálne zastúpenie daného komponentu na vzniku požiarov –
priemer [vlastný]

Iniciačná príčina požiaru vo FV systéme	Percentuálne zastúpenie daného komponentu na vzniku požiarov - priemer
Vznietenie spôsobené FV modulom	12%
Vznietenie spôsobené FV izolátorom	17%
Vznietenie spôsobené FV meničom	19%
Vznietenie spôsobené zlučovačom a poistkou	12%
Vznietenie spôsobené káblami	7%
Vznietenie spôsobené konektormi	21%
Neidentifikovaný resp. nesúvisiaci zdroj vznietenia	12%

Tabuľka 7 ponúka dôležité údaje o príčinách požiarov vo fotovoltaických systémoch a pomáha identifikovať oblasti, ktoré by mohli byť potenciálne rizikové a vyžadovali by zvýšenú bezpečnostnú opatrnosť.

Každý riadok tak isto ako aj v predošlých prípadoch opisuje iniciačnú príčinu požiaru a percentuálne zastúpenie tejto príčiny medzi všetkými zaznamenanými prípadmi požiarov.

Názornejšie zobrazenie ponúka nasledujúci graf (obrázok 14).



Obrázok 14 - Graf percentuálneho zastúpenia komponentov na vzniku požiarov v priemere [vlastný]

Ako môžeme vidieť na koláčovom grafe, v priemere najväčší podiel na vzniku požiarov vo fotovoltaických systémoch majú vznietenie spôsobené **FV konektormi (21%)**, nasledované vznietením spôsobeným **meničom (19%)**, **izolátorom (17%)**, zlučovačom spolu s poistkou (12%) a FV modulmi (12%). Menšie zastúpenie má iba vznietenie spôsobené káblami (7%). Neidentifikované resp. nesúvisiace zdroje vznietenia majú podiel 12% ale vo návrhu bezpečnostných opatrení im nebude venovaná väčšia pozornosť.

Zo zistených údajov môžeme konštatovať že najväčšie čísla dosahovali požiare spôsobené FV konektormi, meničom, izolátorom. Týmto komponentom bude pri návrhu zabezpečenia FV systému venovaná vysoká pozornosť.

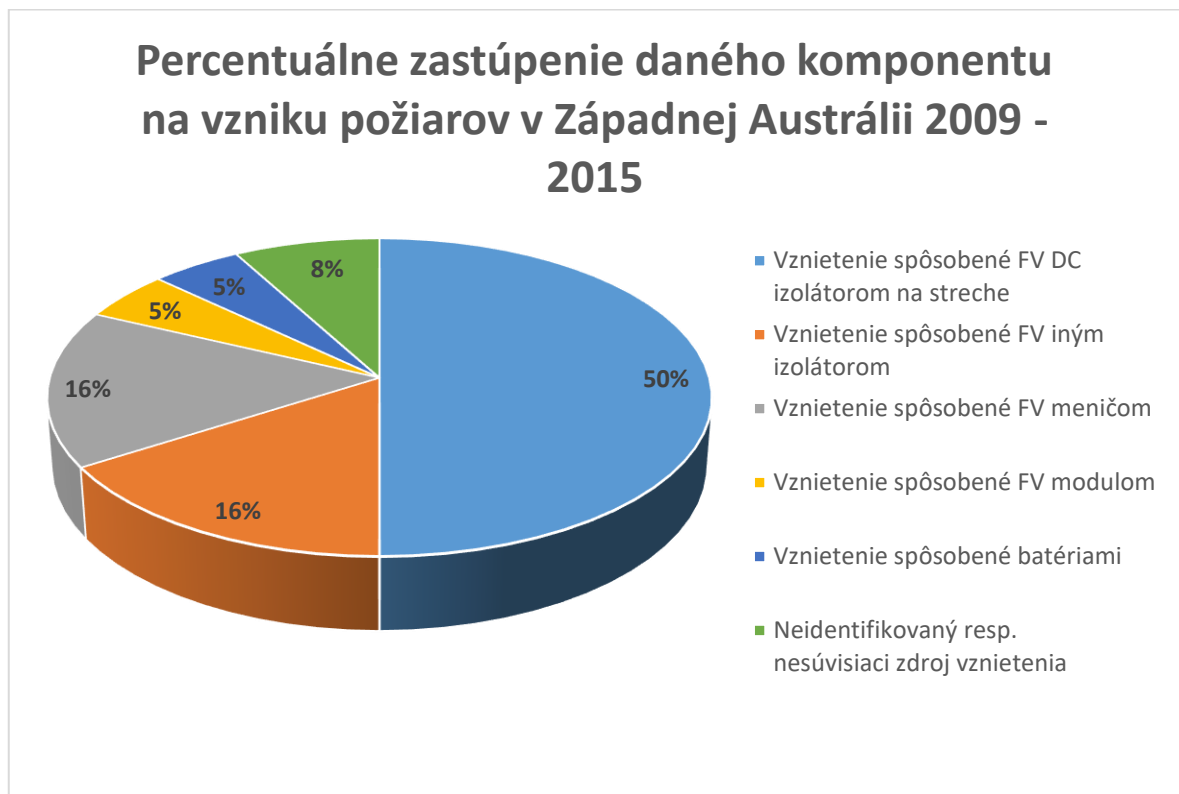
6.2 Iniciácia požiaru spôsobená batériami

Pre komplexnosť výskumu zameraného na slabé časti požiarnej bezpečnosti FV systémov je potreba neopomenúť aj ďalšie komponenty FV systému ako sú napríklad batérie. Tie vo väčšine štúdií zahrnuté neboli, pravdepodobne pre nízky podiel na požiaroch FV systémov.

Tabuľka 8 - Percentuálne zastúpenie daného komponentu na vzniku požiarov v Západnej Austrálii 2009 – 2015 [41]

Iničiálna príčina požiaru vo FV systéme	Percentuálne zastúpenie daného komponentu na vzniku požiarov v Západnej Austrálii 2009 - 2015
Vznietenie spôsobené FV DC izolátorom na streche	50%
Vznietenie spôsobené FV iným izolátorom	16%
Vznietenie spôsobené FV meničom	16%
Vznietenie spôsobené FV modulom	5%
Vznietenie spôsobené batériami	5%
Neidentifikovaný resp. nesúvisiaci zdroj vznietenia	8%

Z tabuľky 8 môžeme vyčítať, že polovicu požiarov súvisiacich so slnečným žiarením v západnej Austrálii spôsobil izolátor. Menič bol zaradený ako druhý najvyšší príčinný činiteľ so 16 %, zatiaľ čo ostatné zložky, ako napr. panely a FV modul predstavovali zvyšok údajov. Batérie v tomto výskume predstavovali iba 5% požiarov spôsobenými FV systémom.



Obrázok 15 - Graf percentuálneho zastúpenia komponentov na vzniku požiarov v Západnej Austrálii 2009 – 2015 [vlastný]

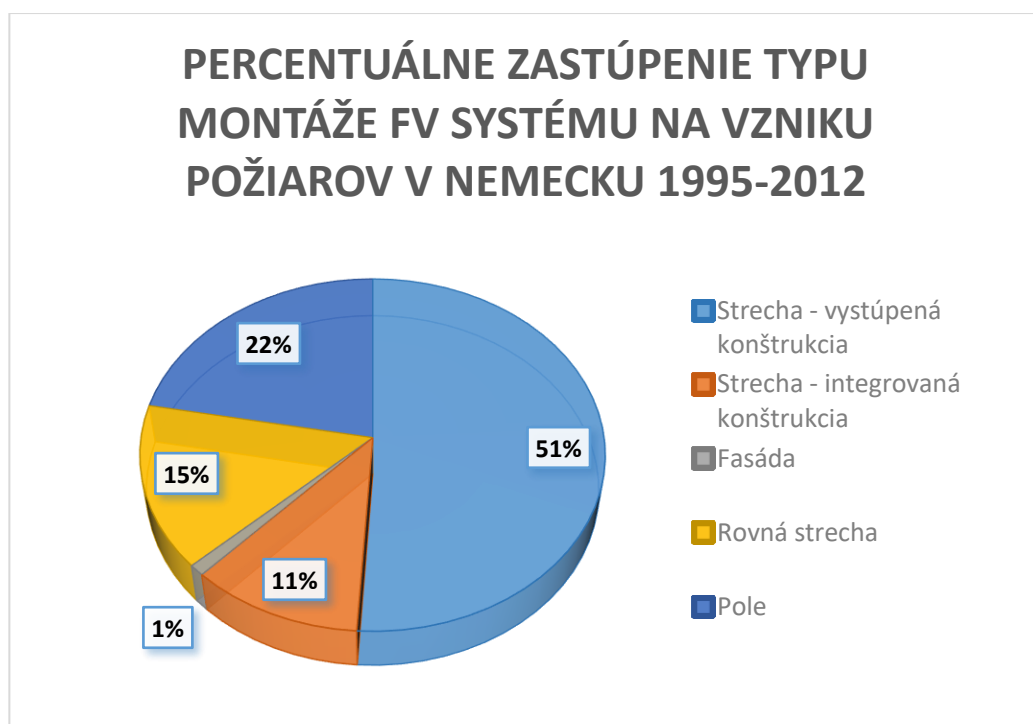
Percentuálne zastúpenie FV komponentov na vzniku požiarov názorne zobrazuje aj graf (obrázok 15). [41]

6.3 Prečo strechy domov

Analýza požiarov v Nemecku v rokoch 1995–2021 zaznamenala zaujímavé údaje aj o ďalších aspektoch požiarov FV systémov. Jedným z nich je aj typ FV systému kde sa objavil požiar. Nasledujúca analýza sa zameriava na 180 prípadov, pričom sa sústreďuje vplyv typu montáže FV systému na požiar. Existujú nejaké parametre, ktoré významne ovplyvňujú závažnosť poškodenia? Z dostupných informácií bolo zrejmých niekoľko parametrov.

Tabuľka 9 - Percentuálne zastúpenie typu montáže FV systému na vzniku požiarov v Nemecku 1995-2012 [44]

Typ montáže FV systému	Percentuálne zastúpenie typu montáže FV systému na vzniku požiarov v Nemecku 1995-2012
Strecha - vystúpená konštrukcia	51%
Strecha - integrovaná konštrukcia	11%
Fasáda	1%
Rovná strecha	15%
Pole	22%



Obrázok 16 – Graf percentuálneho zastúpenia typu montáže FV systému na vzniku požiarov v Nemecku 1995-2012 [vlastný]

Ako je možné pozorovať na grafe (obrázok 16), najväčší podiel požiarov mali na svedomí strešné FV systémy. Podiel každého typu montáže zhruba koreluje s trhovým podielom každého typu FV systému na trhu. Najviac však vynikajú integrované strešné systémy. Spolu s ostatnými systémami BIPV predstavujú asi 1 % celého trhu. Nehody, pri ktorých boli hlásené škody na budovách zaznamenávajú v Nemecku v danom období 54 prípadov. Integrované strešné FV systémy majú na svedomí asi 20 % škôd na budovách. Na základe toho že strešné integrované systémy predstavovali iba 1% požiarov, mali teda až 20-krát vyššie riziko požiaru ako bežné samostatné fotovoltaické systémy!

7 NÁVRH OPATRENÍ A VÝBER POŽIARNÝCH HLÁSIČOV

Na základe predošlého výskumu je ďalším krokom návrh opatrení pre vybrané kritické časti FV systémov, prípadne výber požiarneho hlásiča. Najviac požiarov mali na svedomí práve konektory a preto sú rozobrané ako prvé.

7.1 Konektory

Konektory sú citlivou súčiastkou vo FV systémoch. Každý FV systém obsahuje veľké množstvo konektorov a veľa z nich je inštalovaných ručne. Tieto okolnosti sa do veľkej miery podieľajú na ich rizikovitosti.



Obrázok 17 – vyhorené konektory na vstupe do meniča [45]

Obrázok 17 ukazuje ako môžu skončiť konektory, keď nastane niektorá zo situácií ktoré sú nižšie popísané.

7.1.1 Nekvalifikované krimpovanie kolíkov FV kábel a konektor

Vzhľadom na neodbornosť personálu a často aj nedostatok odbornej prípravy operátorov v rámci stavebných projektov, nekvalifikované krimpovanie kolíkov fotovoltaických konek-

torov sa javí ako hlavný faktor narušenia kontaktu medzi fotovoltaickým káblom a konektorom. Tento nedostatok spôsobuje nielen technické problémy spojené s efektívnosťou fotovoltaických systémov, ale predstavuje aj významný rizikový faktor pre bezpečnosť, keďže nezabezpečený kábel s napätím takmer 1000V môže kedykoľvek vypadnúť z konektora na streche budovy a spôsobiť požiar. Tento typ incidentov predstavuje jednu z hlavných príčin nehôd spojených s fotovoltaickými systémami produkujúcimi elektrickú energiu. Je dôležité si uvedomiť, že spojenie fotovoltaického kábla s konektorom, na prvý pohľad zdanlivo jednoduché, má potenciálne závažné dôsledky v prípade nesprávnej manipulácie alebo nedostatočnej odbornej prípravy.

7.1.2 Problém zhody FV konektorov rôznych značiek

Z princípu je nevyhnutné, aby fotovoltaické solárne konektory použité na spojenie mali rovnakú značku a model. Každý menič sa väčšinou dodáva s rovnakým typom fotovoltaických konektorov, a preto je vhodné použiť k nim prislúchajúce konektory pri inštalácii. Ak je inštalácia správne vykonaná, pripojenie na strane meniča zvyčajne nevytvára problémy. Avšak stále sa často vyskytujú problémy na strane komponentov. Vzhľadom na rozmanitosť značiek fotovoltaických konektorov na trhu však môže byť problém nájsť zodpovedajúce konektory.

Existujú tri navrhované riešenia: Prvým je zakúpiť konektory fotovoltaických panelov rovnakej značky ako solárne panely. Druhá možnosť je odstrihnúť konektor na konci kábla a nahradiť ho konektorom rovnakej značky a typu. Tretím návrhom je, ak je to nutné, použiť konektory fotovoltaických panelov rôznych značiek. Ak sa konektor vkladá moc ľahko, je potrebné vykonať vzájomné prefúknutie. V prípade úniku vzduchu sa tieto produkty nepovažujú za vzájomne použiteľné. Následne je dôležité pomocou meracieho prístroja skontrolovať, či sú pripojené konektory spojené. Zlý kontakt alebo vniknutie vody najčastejšie vedie k problémom s kompatibilitou a môže byť jednou z príčin požiarnych nehôd.

Hlavným dôvodom, prečo nie je odporúčané používať rôzne značky fotovoltaických konektorov spolu je, že rôzni výrobcovia môžu tvrdiť, že ich produkty sú kompatibilné. Avšak, kvôli problému toleranciami neexistuje žiadna istota, že produkty iných výrobcov, budú navzájom kompatibilné. Ak dve rôzne značky fotovoltaických konektorov uvádzajú správu o ich vzájomnej kompatibilite, je možné sa na ňu spoľahnúť.

7.1.3 DC konektory alebo FV káble sú dlhodobo vo vlhkom prostredí

Všeobecne sa predpokladá, že vodivé časti fotovoltaických káblov a konektorov sú obalené materiálmi odolnými voči vode, pričom sa často uvádza, že fotovoltaické konektory sú vodotesné. Avšak, vodotesnosť neznamená automaticky schopnosť dlhodobo odolať pôsobeniu vody. Označenie FV konektora IP68 indikuje, že daný FV konektor s káblom môže byť ponorený do vody v hĺbke od 0,15m do 1m počas 30 minút bez vplyvu na jeho výkonnosť. No čo sa stane, ak je takýto konektor ponorený vo vode 10 alebo viac dní? [45]

Súčasnú fotovoltaické konektory a káble dostupné na trhu, môžu byť krátkodobo vystavené vode, napríklad krátkodobému zmáčaniu alebo dočasnej akumulácii vody. Dôležité je však zabezpečiť, aby čas, po ktorý je konektor vystavený vode, nebol príliš dlhý, aby sa umožnilo vetranie a rýchle vysušenie.

7.2 Menič

Podľa dostupných zdrojov a informácií bolo zistené, že poruchy meničov spôsobili dva hlavné dôvody: chyby produktu a chyby inštalácie a zapojenia, ktoré spôsobujú vysokú mieru požiarov spôsobených meničmi. Bližšie informácie sa zistiť nepodarilo.

7.3 DC Izolátor

Ako bolo spomenuté vo výskume (kapitola 6) pri niekoľkých incidentoch boli ako príčina požiaru určené DC izolátory. V mnohých fotovoltaických systémoch boli nájdené izolátory so známami silného prehriatia. Na meniče boli inštalované na nevhodných miestach, vystavených poveternostným vplyvom alebo inštalované nevhodným spôsobom – na horľavý materiál alebo v jeho blízkosti.



Obrázok 18 – miesto požiaru FV systému so zhorenou zlučovacou skrinkou [44]

Obrázok 18 ukazuje miesto požiaru, ktorý zničil zlučovaciu skrinku. Ako príčinu požiaru vyšetrovateľ identifikoval jednosmerný vypínač. Inšpektor v skutočnosti zistil „nedostatočnú údržbu“ ako konečnú príčinu požiaru. Výrobca izolátorov požadoval po ročnej prevádzke čistenie kontaktov. Zlučovanie skrinky boli vystavené priamemu slnečnému žiareniu a poveternostným vplyvom. Predpokladá sa, že táto expozícia prispela k degradácii kontaktov.



Obrázok 19 – DC izolátor so zuhoľnatenými svorkami po šiestich rokoch prevádzky [44]

Kritickým miestom izolátor sú práve kontakty. Ak má izolátor fungovať správne, musia byť kontakty v perfektnom stave. Poškodenie môžu ľahko odhaliť aj laici, ak sú kontakty viditeľné.

7.4 Zlučovač s poistkou (zlučovacia skriňa + poistky)

Zlučovacie skrinky sa nachádzajú často aj na strechách budov, pričom pokiaľ sú vystavované priamemu slnečnému žiareniu, môže to znamenať postupnú degradáciu tesniacich materiálov a následne riziko vzniku požiaru.



Obrázok 20 - Vodotesné IP65 rozvodné boxy po 15 rokoch prevádzky [44]

V ľavom boxe je možné vidieť kvapky vody zo skondenzovanej vodnej pary. V skrinách pre vonkajšie použitie bez zabezpečeného odvodu kondenzátu sa akumuluje voda.

Ďalším problémom môže byť nesprávne zaistená poistka v držiaku.

Problém môže nastať aj ak sú vodiče modulu vo fyzickom napätí (napríklad držali zväzok ďalších káblov) vodiče môžu byť mierne vytiahnuté z kontaktov v zlučovacom boxe.

7.5 FV modul

Pre bezpečnostné riešenie FV modulu bol vykonaný prieskum aktuálnych technologických možností rámci požiarnej bezpečnosti. Prieskumom boli zistené nové technológie v oblasti ochrany FV systémov pred požiarom a z tohto dôvodu neboli použité bežné požiarne hlásiče.

Aby bolo možné predísť požiarom spôsobeným čiastočným zatienením FV panelov, firmy zaoberajúce sa požiarou bezpečnosťou FV panelov prišli s prelomovým riešením.

Pri prieskume trhu bolo vybraných niekoľko firiem, z ktorých najlepšie služby a vlastnosti ponúkali produkty od firmy Beny a Projoy, pričom firma Beny neponúka protipožiaru ochranu batérie a tak boli pre zabezpečenie zvolené produkty od firmy Projoy.

Firma Projoy má bohaté skúsenosti s návrhom DC spínačov, má zákazníkov po celom svete a taktiež vyhrala ocenenie - Best Fire Protection Solution 2022 (Najlepšie riešenie požiarnej bezpečnosti 2022), v Číne.

Podľa bezpečnostných požiadaviek medzi fotovoltaickým modulom a meničom môže inštalácia fotovoltaického zariadenia RSD (Rapid Shutdown Device, zariadenie okamžitého vypnutia) rýchlo prerušiť jednosmerné vysoké napätie medzi modulmi a meničom. Do systému je nutné implementovať odpájač panelov a v blízkosti meniča je potrebné nainštalovať (interný/externý) ochranný vypínač (ovládaciu skrinku) na rýchle vypnutie meniča.

Systém na ukladanie energie (batéria) dokáže premeniť prebytočný striedavý prúd na jednosmerný prúd na uskladnenie a potom je možné ho previesť na striedavý prúd, keď je výkon nedostatočný. Proces nabíjania a vybíjania potrebuje taktiež ochranu. Nepochopiteľný miniatúrny istič môže plniť obojsmernú ochranu batérií. [46]

Pre dostupnosť viacerých technológií bol výber požiarnej ochrany a návrh požiarnej ochrany rozdelený do 2 úrovní zabezpečenia pred požiarom FV systému:

- základné zabezpečenie;

- vysoká úroveň zabezpečenia.

7.6 Základné zabezpečenie

Za základné zabezpečenie môže byť považovaný napríklad aj klasický izolátor DC strany FV systému. V našom prípade však budeme pracovať o triedu vyššie a za základné zabezpečenie považujeme automatický izolátor na úrovni reťazcov.

7.6.1 Zariadenie na rýchle vypnutie na úrovni reťazcov

PROJOY 5 reťazcový požiarny istič PEFS-EL40H-10. Zariadenie na rýchle vypnutie na úrovni reťazca je v súlade s NEC 2014 s 3 až 5 reťazcami.

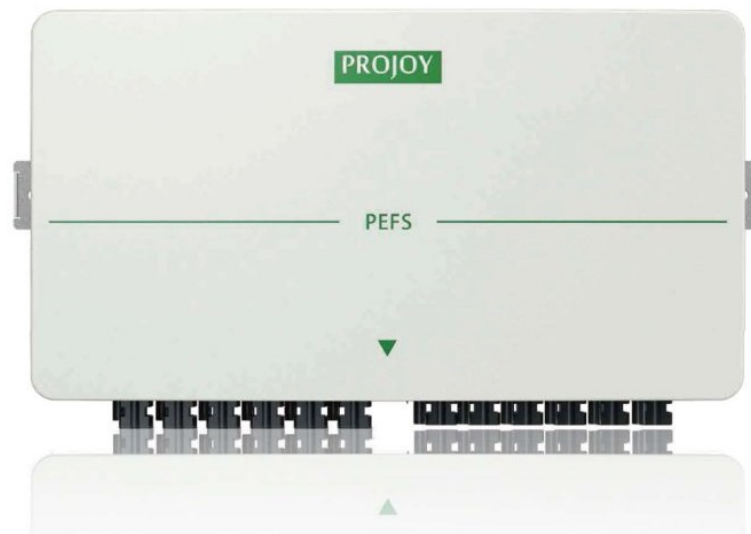
Vlastnosti zariadenia:

- maximálne 1500V, 55A;
- stupeň krytia IP65 pre vonkajšiu inštaláciu;
- ohňovzdorný UL 94 (V-0), odolný voči UV žiareniu F1 level, antikoróznny a odolný voči nárazu;
- automatické vypnutie pri okolitej teplote nad 70 °C;
- protipožiarna ochrana s detekciou oblúka;
- funkcia obnovy PID (Potenciálne vyvolanej degradácie);
- jednosmerná izolácia v súlade s certifikáciami: TUV, CE, CB, SAA, UL. [47]

Norma ohňovzdornosti UL 94 (V-0) - Plameň u vzorky zhasne priemerne počas 5s, a maximálne počas 10s pre každé individuálne vznietenie, žiadne vznietenie žiarom po 30s pre každú vzorku; žiadne kvapky, ktoré by zapálili bavlnu. [48]

Odolnosť voči UV žiareniu F1 - Materiál s hodnotením F1 odoláva UV žiareniu pre priemerné štandardy, predlžujúce životnosť zariadení. [49]

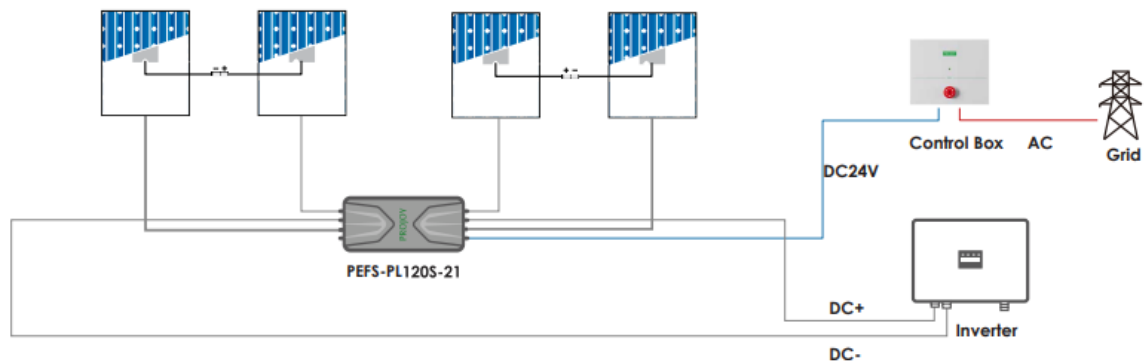
Obrázok 21 zobrazuje PROJOY 5 reťazcový požiarny istič PEFS-EL40H-10.



Obrázok 21 - PROJOY 5 reťazcový požiarny istič PEFS-EL40H-10 [47]

7.7 Vysoká úroveň zabezpečenia

V prípade vysokej úrovne zabezpečenia bola zvolená najvyššia trieda ochrany, ktorú spoločnosť Projoy ponúka a teda odpájače na úrovni panelov.



Obrázok 22 – schéma zapojenia systému PROJOY s odpájaním na úrovni panelov [50]

Na obrázku 21 je znázornené zapojenie systému PROJOY, kde PEFS- PL120S-21 predstavuje odpájač na úrovni panelov, schopný obstaráť až 4 panely, Control box predstavuje ovládaciu skrinku PROJOY, Inverter predstavuje menič a Grid predstavuje striedavú sieť AC.

7.7.1 DC odpájač na úrovni panelov

PROJOY DC odpájač na úrovni panelu PL120S-21 až pre 4 moduly, je navrhnutý tak, aby bol inštalovaný na úrovni solárnych panelov a zaisťuje bezpečné vypnutie DC napájania v prípade núdze a zníženie výstupného napätia sústavy až na 40V, teda hodnotu napätia jedného FV modulu. Zariadenie poskytuje 4 spôsoby vypnutia – manuálnym vypnutím pomocou ovládacej skrinky, manuálnym vypnutím pomocou FV meniča, prerušením napájania striedavého prúdu externým vypínačom alebo automatické vypnutie pri náraste teploty.



Obrázok 23 – možnosti vypnutia zariadenia RSD [vlastný]

Keďže zariadenie poskytuje automatické vypnutie pri teplote vyššej ako 85 °C, nie je potreba inštalácie líniového požiarneho hlásiča.

Vlastnosti zariadenia:

- vysoká spoľahlivosť a stabilita;
- dlhá životnosť;
- ochrana proti rušeniu;
- kompatibilný so všetkými meničmi a priateľský pre testovanie EMC;
- max. 20A;
- ohňovzdorný UL 94 (V-0) / UV odolný F1 level;
- spôsob ovládania vodiča (kábel DC 24V);
- IP68 vonkajšia inštalácia;
- tenký dizajn, jednoduchá inštalácia;
- 2 spôsoby vypnutia ochrany, manuálne a automaticky podľa teploty. [50]



Obrázok 24 – podmienky montáže zariadenia PROJOY PEFS- PL120S-21 [50]

V manuáli PROJOY je taktiež znázornené ako by odpájač nemal byť namontovaný (obrázok 24). Prvé upozornenie (vľavo) sa týka okolitej teploty a teda, že opájač nemôže byť montovaný v prostredí s okolitou teplotou vyššou ako 80°C. Druhé upozornenie (vpravo) znázorňuje, že opájač nemôže byť vystavovaný priamemu slnečnému žiareniu a preto sa odpájač montuje pod FV panely, najčastejšie priamo o konštrukciu držiaku FV panely.



Obrázok 25 - PROJOY PEFS- PL120S-21 pre 4 FV panely [50]

7.7.2 Ovládacia skrinka (Control box) k odpájačom na úrovni panelov

PROJOY ovládacia skrinka PEFS-PCY-S-60 k odpájačom PEFS

- Maximálna vzdialenosť podpory 200 m;
- IP65, vonkajšia inštalácia;
- podpora maximálne 60 ks modulov pre jeden ovládač;
- dodržiavajte požiadavky NEC2017 / NEC2020 (690.12) a Sunspec RSD;
- norma horľavosti: UL94-V0;



Obrázok 26 - PROJOY ovládacia skrinka PEFS-PCY-S-60 k odpájačom PEFS [51]

7.7.3 DC izolátor

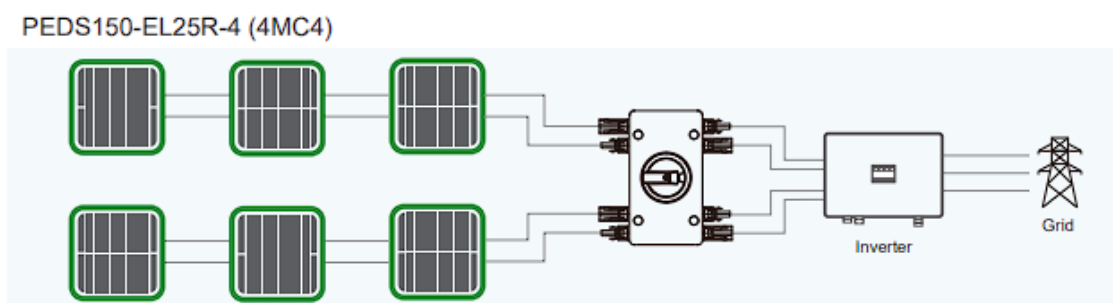
Menič je považovaný za „hlavný uzol“ vo FV systéme. Pokiaľ je svetlo, panely generujú elektrinu a menič pracuje automaticky. Problémom je, že pri opravě alebo odpájaní meniča, ak sa najskôr neodpojí vstup batérového modulu a FV meniča, pri pripájaní a odpájaní jednosmernej svorky sa pripoí jednosmerné napájanie na jednosmernú stranu meniča, čo môže spôsobiť úraz technikov a poškodenie meniča a koncového zariadenia. Väčšina meničov na trhu nemá zabudovanú elektrickú izoláciu napätia, čo vedie k možnosti spätného napájania zo strany AC na stranu DC, a ak sa jednosmerný prúd nedá fyzicky izolovať počas údržby, hrozí riziko úrazu elektrickým prúdom.

Odpojovač jednosmerného prúdu série PEDS od spoločnosti Projoy sa často inštaluje do fotovoltaiických meničov, zlučovacích boxov alebo jednosmernej skrinky, aby blokoval jednosmerné napájanie medzi modulmi, meničom a panelom batérie. Všetky sektory FV systému tak môžu byť bezpečne chránené fyzickou izoláciou AC a DC spínačov.

DC izolátor série Projoy PEDS150H je vyvinutý pre solárne FV systémy s vysokým napätím. Modulárny a kompaktný dizajn pre FV meniče, zlučovacie boxy a celý rad DC aplikácií. Bezpečný až do 1500V a 32A.



Obrázok 27 – Projoy PEDS150H [52]



Obrázok 28 – schéma zapojenia DC izolátora do FV systému [53]

Obrázok 28 zobrazuje schému zapojenia DC izolátora do FV systému, pričom konkrétne tento izolátor dokáže obstaráť 2 reťazce. Inverter predstavuje menič a Grid predstavuje striedavú sieť AC.

7.7.4 AC vypínač

AC vypínač predstavuje bežný AC istič, ktorý je umiestnený v sieti so striedavým napätím aby bolo možné v prípade potreby odpojiť celý FV systém vrátane meniča od domácej AC siete.



Obrázok 29 – Istič ETI SV 363 3p 63A [54]

Konkrétne to na Slovensku vyžaduje norma STN EN 61439-3, ktorá sa zaoberá rozvádzačmi nízkeho napätia vrátane rozvádzačov pre fotovoltaické systémy. Podľa tejto normy musí byť každý fotovoltaický systém vybavený AC vypínačom, ktorý zabezpečuje možnosť bezpečného odpojenia systému od elektrickej siete.

7.7.5 Ochrana batérií

Keďže batérie vo FV systéme sú pevne uložené, môžu pri vnútornom skrate ľahko spôsobiť požiar a batériový modul sa prehreje.

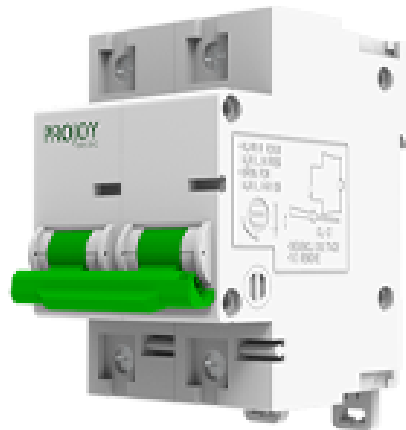
Nepolárny istič od Projoy vo vnútri akumulátorovej batérie môže rýchlo prerušiť obvod v situáciách preťaženia, skratu, pod napätia a iných, a tým zabrániť požiaru batérie.

Jednosmerné miniatúrne ističe Projoy PEBS-L-125A-2P-DC s kapacitami izolácie zát'aže a ochranou proti preťaženiu/skratu sú určené pre fotovoltaické zariadenia, skladovanie energie a iné DC aplikácie, umiestnené hlavne medzi batériami a hybridnými meničmi. Maximálne napätie do 160VDC, prúd do 125A. Hlavným kritériom návrhu týchto ističov je poskytnúť vedeckú technológiu zhasania oblúka a zábleskovej bariéry, aby sa splnilo rýchle a bezpečné prerušenie prúdu. Testované podľa IEC a GB/T.

Vlastnosti ističu:

- ochranné funkcie: preťaženie, skrat;

- menovitá skratová vypínacia schopnosť do 10 kA;
- nepolarita, jednoduché zapojenie;
- menovitý prúd až 125A;
- menovité napätie do 160V;
- navrhnuté pre FV, skladovanie energie a iné DC aplikácie.



Obrázok 30 - Projoy PEBS-L-
125A-2P-DC [55]

7.8 FV systém ako celok

Vo FV systéme sa nachádza množstvo komponentov a veľa z nich je potreba upevniť, napojiť či prepojiť. Táto práca prislúcha elektrikárom alebo firme zaoberajúcej sa montážou FV systémov. Je mnoho miest kde môže nastať chyba a následky môže odniesť celý FV systém prípadne aj celý objekt. Vo vyššie uvedených opatreniach sú uvedené len niektoré z možných chýb, najčastejšie také, ktoré vie bežný užívateľ skontrolovať, spozorovať a zariadiť aby boli napravené. Taktiež je dôležité podotknúť, že montáž FV systému je odborná práca a mala by byť vždy zverená do rúk odborníkov.

Na obmedzenie potenciálneho poškodenia budovy sa dôrazne odporúča oddeliť polaritu pri vchode do budovy a použiť protipožiarne tesnenie pre každú polaritu. Tým sa zabráni vniknutiu elektrického oblúka do budovy. V kritických aplikáciách by sa malo zvážiť použitie oblúkových detektorov, aby sa znížilo riziko požiaru.

Požiar FV systému môže byť zapríčinený okrem internej poruchy či nesprávnej inštalácie aj iným faktorom. Externé faktory sú často tiež príčinou porúch FV systémov s následkom požiaru. Patria medzi nich nasledovné (následne vždy aj potenciálne opatrenie):

- Hlodavce alebo kuny prežerú izoláciu drôtu.
 - *Opatrenie:* pravidelná kontrola a premeranie izolačného stavu káblov.
- Úder blesku.
 - *Opatrenie:* systém ochrany pred bleskom, dôkladné uzemnenie všetkých častí a komponentov.
- Remeselník pracujúci na streche alebo v podkroví, prevrtanie sa do (skrytých) káblov DC.
 - *Opatrenie:* použitie detektorov káblov pred vrtaním, následne kontrola FV systému.

Je veľmi dôležité spomenúť chyby, ktoré bežný užívateľ spozorovať nedokáže. Všetky druhy spojov sú citlivé, najmä tie, ktoré sa vyrábajú v teréne. Okrem toho „spínač jednosmerného prúdu“, „svorka jednosmerného prúdu“, „spojovacia skrinka jednosmerného prúdu“ a „rozvod striedavého prúdu“ často znamenajú použitie skrutkových svoriek. Skrutkové svorky sú potenciálnym slabým miestom vo FV systémoch a mali by byť nahradené inými spojovacími technológiami. Pri uťahovacích skrutkách, dosiahnutie dobrej kvality kontaktu, vyžaduje kontrolovaný krútiaci moment podľa špecifikácií výrobcu terminálu. Málokto inštalatér pravidelne používa skrutkovač s reguláciou krútiaceho momentu.

Kontroly

Kontroly môžu ľahko odhaliť stopy prehriatia na moduloch, spínačoch, konektoroch a svorkách. Tieto znaky môžu odhaliť aj laici. Naopak odborná kontrola celého systému vrátane všetkých elektrických spojení termovíznou kamerou výrazne uľahčuje detekciu kritických komponentov. Kontrola by sa mala vykonávať raz ročne a v kombinácii s údržbou jednosmerných DC izolátorov.

7.9 Doplnkové zabezpečenie

Solárne panely nemožno jednoducho vypnúť, a pokiaľ sú vystavené slnečnému žiareniu, zostávajú vrátane prepojovacích káblov neustále pod napätím, čo predstavuje obrovské riziko pre hasičov pri hasení prípadných požiarov.

PVSTOP vytvorí dočasnú ochrannú nepriepustnú vrstvu na solárnych paneloch a tým zabráni panelom vo výrobe elektriny. Vytvorená ochranná vrstva je ľahko odlúpateľná, vďaka tejto vlastnosti môžu byť panely, ktoré neboli zasiahnuté požiarom, aj naďalej používané. Aplikovaná vrstva vydrží na paneloch až 12 mesiacov, pokiaľ je to potrebné, a po

8 NÁVRH ZABEZPEČENIA SYSTÉMU

Pre návrh zabezpečenia systému bol po analýze dostupných programov na návrh fotovoltaických vybratý program PV SOL PREMIUM, ktorý ponúka detailné dizajnovanie FV systémov. Program ponúka mesačnú skúšobnú lehotu zadarmo, ktorá bola využitá.

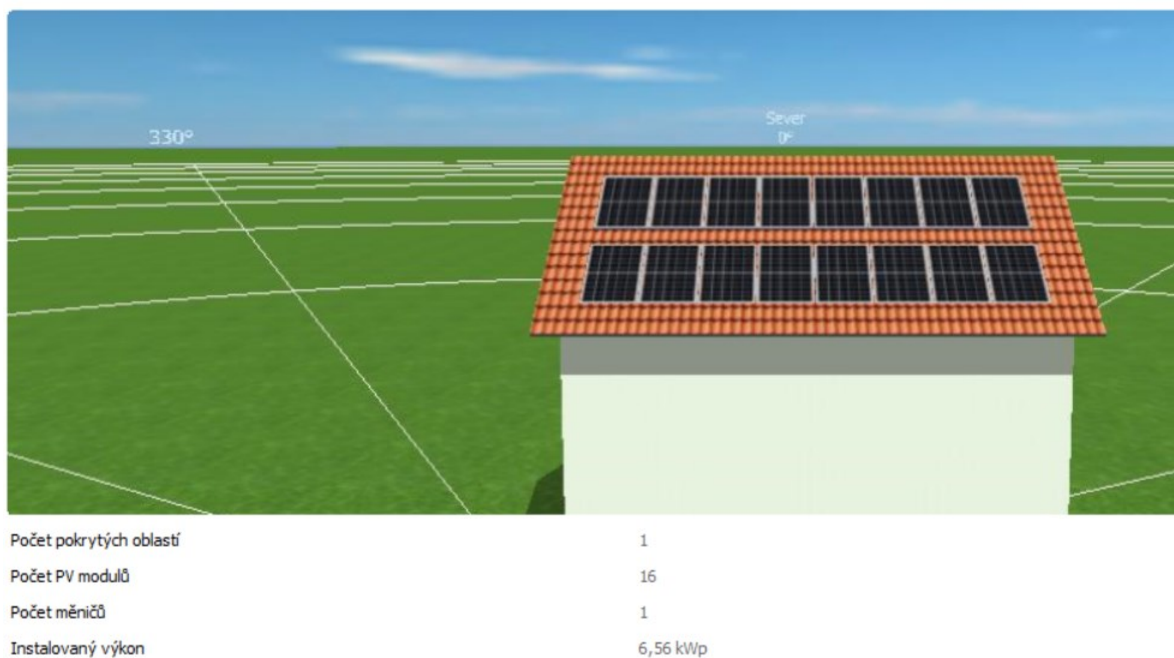
Vlastnosti programu:

- Rozsiahla databáza produktov obsahuje viac ako 26 000 fotovoltaických modulov, 7 500 meničov, 5 500 batériových systémov a mnoho ďalších produktov, ako sú napríklad optimalizátory výkonu;
- pravidelná aktualizácia samotnými výrobcami produktov;
- vizualizácia všetkých bežných typov FV systémov v 3D, či už integrované do strechy alebo na strechu, či už na malých šikmých strechách, veľkých priemyselných halách alebo otvorených priestoroch - s až 7 500 namontovanými modulmi alebo až 10 000 modulmi rovnobežnými so strechou;
- realistické zatiene od okolitých objektov ponúka najvyššiu spoľahlivosť prognózy výnosu.



PV*SOL premium

Obrázok 32 – Logo programu PV SOL Premium [58]



Obrázok 33 – Vymodelovaný FV systém v programe PV SOL PREMIUM

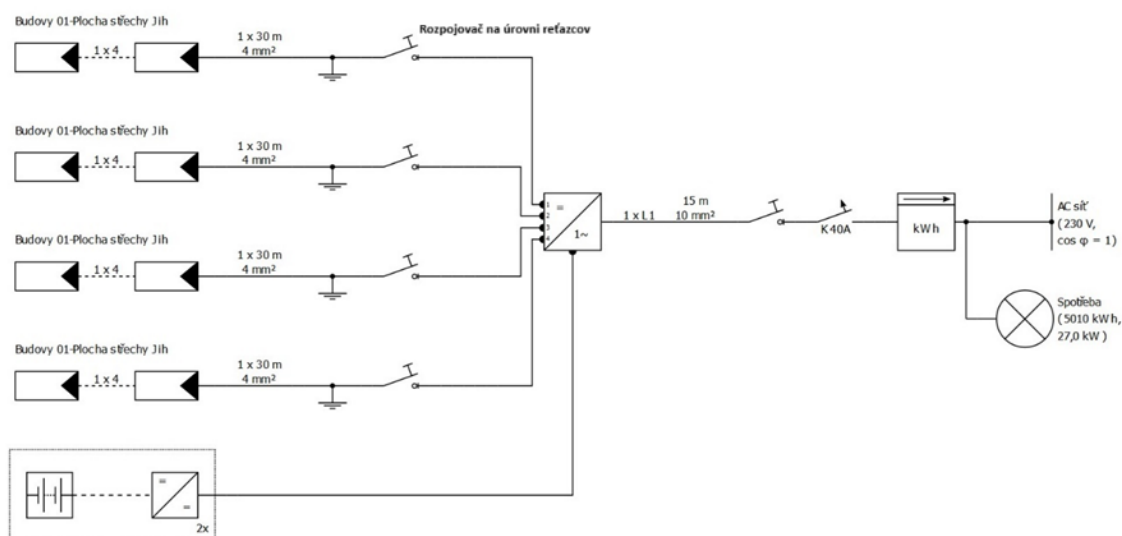
V našom prípade, bol zvolený FV systém na šikmej streche, keďže v tomto prípade uchytenia systému bolo zaznamenaných najviac požiarov. Strecha bola osadená 16ks FV modulmi: AE SOLAR 400Wp. Pričom boli panely rozdelené do 4 reťazcov po 4 panely. Takéto rozmiestnie a rozdelenie navrhol program. Celkový výkon sústavy predstavuje 6,56 kWp.

8.1 Základné zabezpečenie

Základné zabezpečenie FV systému v tom prípade predstavuje PROJOY PEFS-EL40H-10 odpájač na úrovni reťazcov. Tento odpájač je schopný v prípade potreby opojiť každý reťazec aby sa znížilo napätie systému na napätie generované jedným reťazcom. Ďalej je zabezpečenie obohatené o prístroj PV stop a AC vypínač, ktorý je povinný podľa noriem.

Nižšie je uvedený rozpis potrebných komponentov:

- 1x PROJOY PEFS-EL40H-10 - 5 reťazcový požiarny odpájač;
- 1x AC vypínač pre hasičov;
- 1x PVSTOP prístroj.



Obrázok 34 – schéma zapojenia FV systému s odpájačom na úrovni reťazcov

Vyššie uvedená schéma zobrazuje 4 reťazce po 4 panely, pričom každý reťazec musí byť uzemnený a takisto vybavený odpojovačom záťaže (izolátorom), čo v tomto prípade predstavuje PROJOY PEFS-EL40H-10, ku ktorému je každý z reťazcov jednotlivo napojený. AC vypínač predstavuje istič K-40A. Ďalej je v schéme zobrazený menič, elektromer výroby a batérie, keďže sa jedná o systém grid-interactive s batériovým systémom.

8.2 Vysoká úroveň

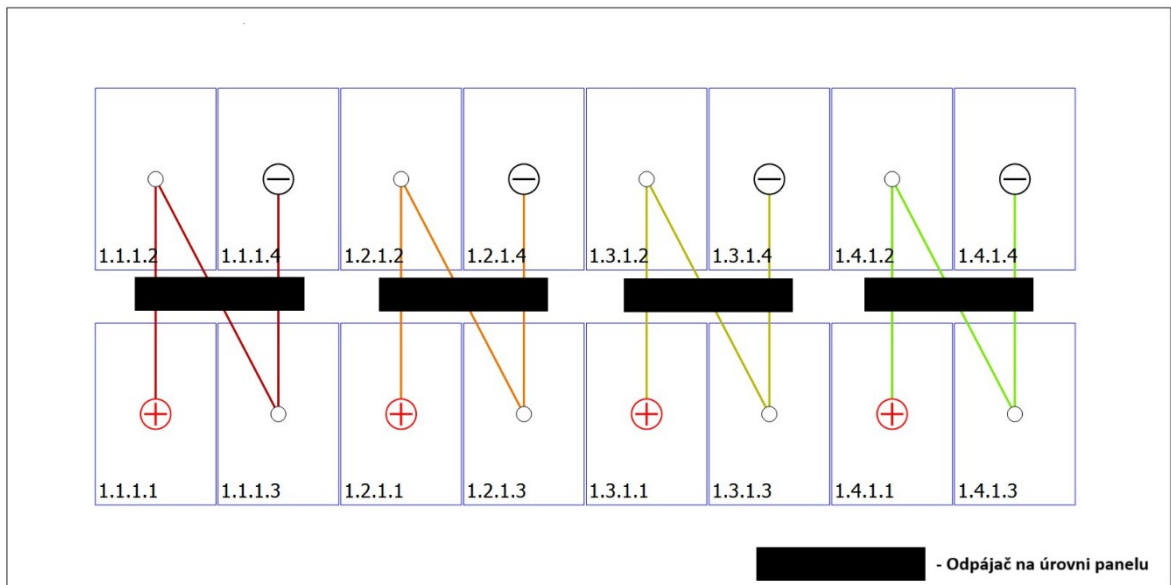
Vysokú úroveň zabezpečenia predstavuje systém PROJOY s odpájačmi na úrovni reťazcov. Na základe modelu vypracovaného v programe PV SOL by boli potrebné nasledujúce komponenty.

Nižšie je uvedený rozpis potrebných komponentov:

- 1x Projoy PEFS-PCY-S-60 - ovládacia skrinka k odpájačom panelov PEFS;
- 4x Projoy PL120S-21 - DC odpájač na úrovni panelu;
- 4x Projoy konektory pre 24V DC prepojavací kábel (pár);
- 1x Projoy prepojavací kábel 20m, 24V DC;
- 1x Projoy prepojavací kábel 30m, 24V DC;
- 1x AC vypínač pre hasičov;
- 1x PVSTOP prístroj.

Prepojovacie káble sú potreba na prepojenie jednotlivých odpájačov a pripojenie k ovládacej skrinke s dĺžkami navrhnutými podľa modelu v programe PV SOL.

V programe PVSOL PREMIUM nebolo možné vhodne v schéme zobrazit' všetky odpájače na úrovni panelov a tak sú zobrazené v rozložení panelov na streche. Vid'. obrázok 35.

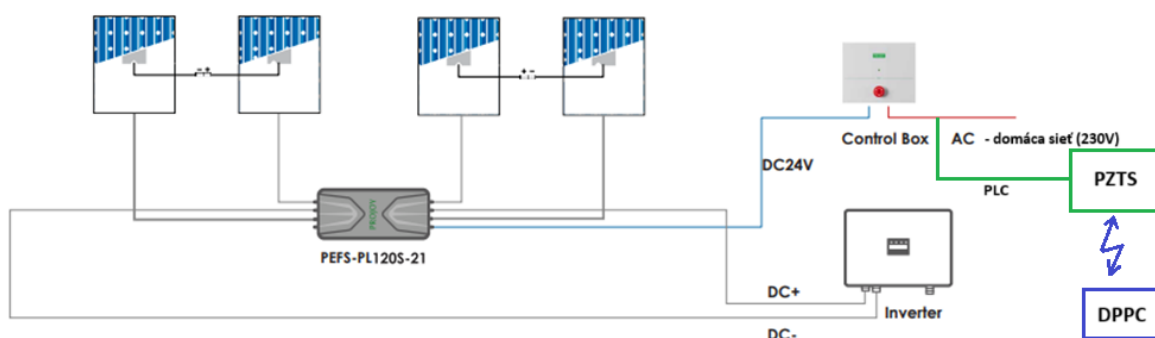


Obrázok 35 – schéma zapojenia panelov a odpájačov Projoy PL120S-21 [vlastný]

Obrázok 35 uvedený vyššie zobrazuje 16 FV modulov rozdelených do 4 reťazcov, pričom ku každej štvorici panelov je namontovaný odpájač na úrovni panelu PROJOY PL120S-21, ktorý dokáže v prípade potreby odpojiť každý panel a tak znížiť výstupné napätie na minimum.

9 SPÔSOB SPRACOVANIA POPLACHU

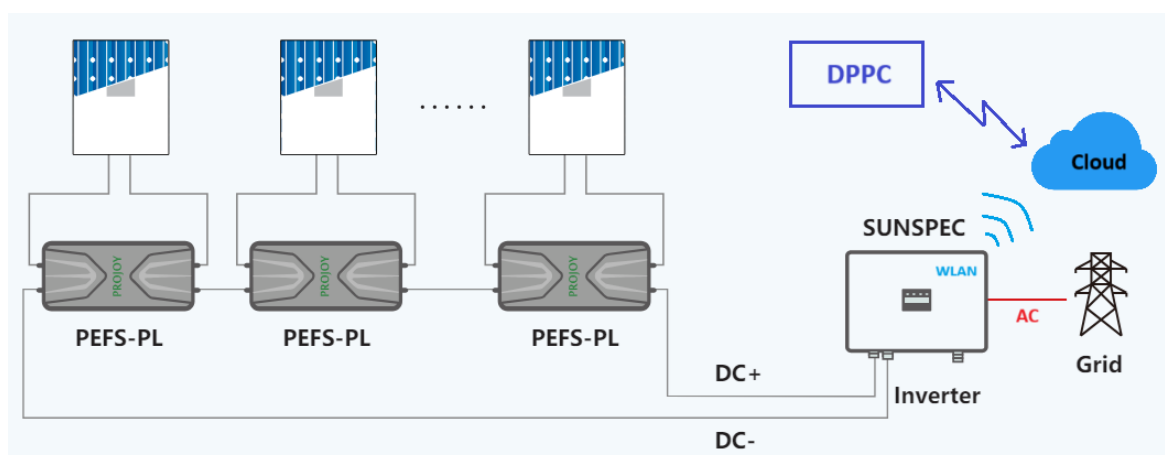
Systémy od Projoy ponúkajú lokálnu komunikáciu pomocou PLC (powerline communication - komunikácia po elektrickej sieti), a teda je možné tieto systémy lokálne ovládať pomocou vypínačov. Týmto spôsobom je možné prepojiť systém Projoy a domáce PZTS (poplachové zabezpečovacie a tiesňové systémy), prípadne DPPC (dohľadové prijímacie poplachové centrum). [59]



Obrázok 36 – schéma zapojenia systému PROJOY, PZTS a DPPC [vlastný]

Obrázok 36 zobrazuje zapojenie systému Projoy a jeho pripojenie k PZTS pomocou PLC. Predpokladá sa, že domáce PZTS sú vzdialene sledované pomocou DPPC.

Ak je v meniči integrovaný vysielač signálu s certifikáciou SUNSPEC, nie je potrebné inštalovať ovládaciu skrinku a je možné odpájače panelov ovládať a sledovať aj pomocou FV meniča, prípadne softwarom k meniču.



Obrázok 37 – zapojenie odpájačov panelov k FV meniču s certifikáciou SUNSPEC [vlastný]

FV menič môže byť k sieti pripojený buď pomocou ethernetu alebo WLAN a vzdialene sledovaný alebo ovládaný DPPC.

10 EKONOMICKÁ NÁROČOSŤ NÁVRHU

Jedným zo zámerov implementácie FV systémov je aj šetrenie nákladov spojených s energiami a preto je dôležité priblížiť a porovnať finančnú náročnosť požiarneho zabezpečenia spomínaných systémov. Ekonomická náročnosť návrhu je takisto návrh zabezpečenia systému rozdelená na základné zabezpečenie a vysokú úroveň zabezpečenia.

10.1 Základné zabezpečenie

Tabuľka 10 zobrazuje ceny protipožiarneho prvkov pre základné zabezpečenie.

Tabuľka 10 – ekonomické hodnotenie základného zabezpečenia [vlastný]

Protipožiarne prvky	Cena	Počet kusov	Výsledná cena
PROJOY 5 reťazcový požiarne odpájač PEFS-EL40H-10(P2)	290,25 €	1	290,25 €
AC vypínač - Schrack B25/3 6kA 25A 3-pólový	11,99 €	1	11,99 €
Prístroj PVSTOP	661,07 €	1	661,07 €
Spolu			963,31 €

Z tabuľky 10 je možné vyčítať že výsledná suma za komponenty je 963,31€. Treba však ešte počítať so sumou za inštaláciu zariadení.

10.2 Vysoká úroveň zabezpečenia

Tabuľka 11 zobrazuje ceny protipožiarneho prvkov pre vysokú úroveň zabezpečenia.

Tabuľka 11 – ekonomické hodnotenie vysokej úrovne zabezpečenia [vlastný]

Protipožiarne prvky	Cena	Počet kusov	Výsledná cena
DC vypínač - Projoy PEDS150H	64,92 €	2	129,84 €
AC vypínač - ETI SV 363 3p 63A	21,95 €	1	21,95 €
Odpájač FV panelov - PROJOY PL120S-21	50,90 €	4	203,60 €
PROJOY ovládacia skrinka PEFS-PCY-S-60	55,75 €	1	55,75 €
PROJOY prepojovací kábel 20m, 24V DC	30,50 €	1	30,50 €
PROJOY prepojovací kábel 30m, 24V DC	40,66 €	1	40,66 €
PROJOY Konektory pre 24V DC prepojovací kábel (pár)	4,24 €	4	16,96 €
Prístroj PVSTOP	661,07 €	1	661,07 €
Spolu			1 160,33 €

Z tabuľky 11 je možné vyčítať že výsledná suma za komponenty je 1160,33€. Treba však ešte počítať so sumou za inštaláciu zariadení.

Je veľmi dôležité spomenúť, že nie všetky problémy spojené s protipožiarnou bezpečnosťou FV systémov je možné vyriešiť požiarnymi hlásičmi či protipožiarnymi prvkami. U konektorov bolo spomenutých mnoho aspektov ako napríklad kvalifikované krimpovanie konektorov a mnoho ďalších. Pre dosiahnutie čo najvyššej požiarnej bezpečnosti FV systému je potreba kvalitný návrh a inštaláciu systému. Keďže cenové ponuky firiem sa vždy líšia od veľkosti a typu FV systému, finančná náročnosť tohto aspektu nebola zahrnutá do ekonomickej náročnosti.

11 BUDÚCI VÝVOJ FV SYSTÉMOV

U fotovoltaických systémov je možné predpokladať v oblasti požiarnej bezpečnosti vývoj, ktorý bude pravdepodobne formovaný niektorými z nasledujúcich kľúčových trendov a technologických inovácií.

11.1 Zlepšenie materiálov a komponentov

Nové materiály odolné voči vysokým teplotám a ohňu budú dôležité pre zvýšenie bezpečnosti fotovoltaických systémov. Výskum a vývoj sa zameriava na materiály, ktoré sú menej náchylné na horenie a môžu odolávať vyšším teplotám bez degradácie.

11.2 Pokročilé diagnostické a monitorovacie systémy

Inteligentné monitorovacie systémy umožnia lepšiu detekciu potenciálnych problémov, ako sú prehriatie alebo skrat, ktoré môžu viesť k požiaru. Tieto systémy budú schopné v reálnom čase sledovať stav fotovoltaických panelov a iných komponentov, pričom budú okamžite upozorňovať na akékoľvek anomálie.

11.3 Zvýšené normy a regulácie

Európske a národné normy, ako napríklad STN EN 62446-1, budú neustále aktualizované, aby zohľadňovali nové poznatky a technológie v oblasti požiarnej bezpečnosti. Tieto normy budú zahŕňať konkrétne požiadavky na ochranné prvky a inštalačné postupy, ktoré minimalizujú riziko požiarov.

11.4 Vylepšené systémy hasenia požiaru

Integrácia moderných systémov hasenia požiaru, ktoré sú navrhnuté špeciálne pre elektrické zariadenia, bude veľmi dôležitá. Tieto systémy môžu zahŕňať automatické hasenie pomocou plynových alebo iných systémov, ktoré sú menej škodlivé pre elektrické komponenty a účinnejšie pri hasení požiarov spôsobených elektrinou.

11.5 Výskum na prevenciu a potlačenie požiarov

Výskum sa bude zameriavať na lepšie pochopenie príčin požiarov vo fotovoltaických systémoch a na vývoj metód na ich prevenciu. To zahŕňa výskum správania sa materiálov pri vysokých teplotách, mechanizmov iskrenia a spôsobov, ako efektívne potlačiť požiare, ak k nim dôjde.

11.6 Edukácia a tréning inštalatérov

Zvýšený dôraz bude kladený na tréning a certifikáciu inštalatérov fotovoltaických systémov, aby boli plne oboznámení s najnovšími bezpečnostnými postupmi a technológiami. Organizácie ako Slovenská asociácia fotovoltaického priemyslu a obnoviteľných zdrojov energie (SAPI) už teraz vydávajú kódexy a príručky, ktoré pomáhajú inštalatérom dodržiavať bezpečnostné štandardy.

11.7 Integrácia inteligentných sietí

Inteligentné siete umožnia lepšiu kontrolu a monitorovanie fotovoltaických systémov, čo môže pomôcť rýchlo izolovať a vypnúť časti systému, ktoré by mohli predstavovať riziko požiaru. Tieto siete môžu tiež optimalizovať tok energie, aby sa predišlo preťaženiu a potenciálnym nebezpečným situáciám.

Tieto trendy a inovácie naznačujú, že budúci vývoj fotovoltaických systémov bude zahŕňať komplexný prístup k zlepšeniu požiarnej bezpečnosti, čo prispeje k širšiemu prijatiu a bezpečnejšej integrácii solárnej energie do globálnych energetických systémov.

11.8 Príprava FV systému v oblasti požiarnej bezpečnosti

Ako bolo v kapitole 10 naznačené, mnoho aspektov požiarnej bezpečnosti FV systémov nie je možné pokryť fyzickými bezpečnostnými prvkami. Veľmi dôležitou súčasťou požiarnej bezpečnosti FV systémov je teda kvalitný návrh FV systému, kvalifikovaná montáž, vhodné komponenty a tiež pravidelná kontrola kritických súčastí FV systémov.

Pre správne zabezpečenie FV systému pred požiarom, bola v rámci diplomovej práce vytvorená tabuľka (Tabuľka 12) primárne pre bežných spotrebiteľov, aby si mohol každý užívateľ zabezpečiť, prípadne overiť bezpečnosť svojho fotovoltaického systému. Všetky náležitosti na ktoré sa podarilo pri spracovaní práce prísť a sú kľúčové pre dobre chránený FV systém pred požiarom sú zahrnuté v tabuľke 12.

Tabuľka 12 – Kontrolný zoznam pre prípravu systému v oblasti požiarnej bezpečnosti [vlastný]

Kontrolný zoznam - príprava FV systému v oblasti požiarnej bezpečnosti	✓/X
Konektory	
Krimpovanie kolíkov PV kábla a konektora je kvalifikované	<input type="checkbox"/>
FV konektory na prepojenie sú rovnakej značky a modelu	<input type="checkbox"/>

Všetky kladné a záporné póly obvodu FV reťazca sú zapojené správne	<input type="checkbox"/>
FV DC konektory a FV káble nie sú v dlhodobom vlhkom prostredí	<input type="checkbox"/>
Akýkoľvek bod vo FV reťazci je uzemnený alebo tvorí cestu mostíkom	<input type="checkbox"/>
Menič	
Menič je umiestnený v samostatnej vetranej miestnosti	<input type="checkbox"/>
V miestnosti je zariadenie na detekciu požiaru	<input type="checkbox"/>
Menič nie je namontovaný na horľavú stenu prípadne na horľaviny steny, ako sú drevené panely alebo horľavý sendvič panelov.	<input type="checkbox"/>
Izolátor	
Izolátor nie je vystavený poveternostným vplyvom	<input type="checkbox"/>
Naplánované čistenie kontaktov pre každý rok	<input type="checkbox"/>
Zlučovacia skrinka s poistkami	
Zlučovacia skrinka nie je vystavená poveternostným vplyvom a priamemu slnečnému žiareniu	<input type="checkbox"/>
Naplánované čistenie kontaktov pre každý rok	<input type="checkbox"/>
Vodiče vchádzajúce do skrinky nie sú vo fyzickom napätí	<input type="checkbox"/>
Všetky poistky sú správne zaistené v držiakoch	<input type="checkbox"/>
Prevencia horúcich miest (hot spots)	
Zariadenie RSD na úrovni panelov	<input type="checkbox"/>
Zariadenie nie je vystavené teplotám vyšším ako 80°C	<input type="checkbox"/>
Zariadenie nie je vystavované priamemu slnečnému žiareniu	<input type="checkbox"/>
Batérie	
Do obvodu batérií je vložený istič	<input type="checkbox"/>
Batérie sú umiestnené v samostatnej vetranej miestnosti	<input type="checkbox"/>
V miestnosti je zariadenie na detekciu požiaru	<input type="checkbox"/>
PVSTOP	
Na každých 45m ² plochy panelov je nachystaný jeden prístroj PVSTOP	<input type="checkbox"/>
Iné	
Pravidelná kontrola a premeranie izolačného stavu káblov	<input type="checkbox"/>
Odelenie polarít pri vchode do budovy	<input type="checkbox"/>
Použitie protipožiarneho tesnia pre každú polaritu	<input type="checkbox"/>
Použitie systému ochrany pred bleskom	<input type="checkbox"/>
Káble odlišných polarít boli oddelené pri vstupe do budovy	<input type="checkbox"/>
Protipožiarne tesnenie na vstupe strešnej kabeláže do budovy	<input type="checkbox"/>
FV systém bol namontovaný kvalifikovanou firmou	<input type="checkbox"/>
Na každý rok je naplánovaná kontrola FV systému	<input type="checkbox"/>

ZÁVER

Diplomová práca sa zaoberala problematikou požiarnej bezpečnosti fotovoltaických systémov, ktorá je čoraz relevantnejšia v súvislosti s rastúcim počtom inštalácií solárnych panelov na celom svete. Výskum a analýza ukázali, že hoci fotovoltaické systémy predstavujú významný prínos pre udržateľnú energiu, ich nesprávna inštalácia a údržba môžu viesť k požiarovým rizikám. Jedným z kľúčových zistení bolo, že vysoké napätie a jednosmerný prúd používaný vo fotovoltaických systémoch vytvára špecifické požiarne riziká, ktoré sa líšia od tradičných elektrických systémov. Tieto riziká sú často spojené s nekvalitnými komponentmi, neodbornou inštaláciou a nedostatočným dodržiavaním bezpečnostných noriem. Slovenské normy, ako napríklad STN EN 62446-1, poskytujú rámec pre bezpečnú inštaláciu a prevádzku týchto systémov, no dôraz na ich dodržiavanie musí byť prioritou pre všetkých zúčastnených aktérov.

V praktickej časti práce boli pomocou štúdie požiarov z rôznych krajín (Nemecko, Austrália, Veľká Británia) identifikované kľúčové komponenty a aspekty, ktoré majú na svedomí veľké množstvo požiarov spojených s FV systémami. Najviac požiarov bolo zapríčinených fotovoltaickými konektormi, meničom a izolátorom. Prieskumom bolo zistené, že mnohokrát nie je príčinou chyba samotného produktu ale nesprávna inštalácia, či použitie. Na základe štúdie a prieskumu boli vyvodené opatrenia na zvýšenie požiarnej bezpečnosti fotovoltaických systémov medzi ktoré patrí: používanie kvalitných a certifikovaných komponentov, odborná inštalácia a údržba, implementácia pokročilých monitorovacích a vypínacích systémov, vzdelávanie a informovanie verejnosti.

Prekvapivý výsledok ponúkla aj analýza v kapitole 6.3, ktorá skúmala požiare v závislosti na type FV systému. Vysokú rizikovosť (až 20-krát vyššiu ako bežné BAPV systémy) vykazujú práve integrované BIPV systémy. Rizikovosť je spojená najmä s integráciou fotovoltaických modulov do budovy, čo vytvára vo veľa prípadoch ideálne prostredie pre akumuláciu tepla a šírenie požiaru do vnútra budovy. Prieskumom bolo zistené, že mnoho krajín už vyvíja úsilie v rámci rozsiahleho požiarneho testovania BIPV systémov, ako napríklad Dubaj (kapitola 4.7) ktorý požiarne testuje pre FV moduly a pre BIPV systémy vyžaduje vyššiu odolnosť. Protipožiarne zariadenia/opatrenia pre tento typ fotovoltaického systému sa však nepodarilo nájsť.

V rámci kapitoly 9 (Spôsob spracovania poplachu) v praktickej časti bola zaujímavým zistením schopnosť systému Projoy komunikovať pomocou PLC. Podľa zistených informácií

je firma Projoy aktuálne jedna z troch firiem na svete, ktoré majú certifikáciu pre takúto komunikáciu v rámci požiarnej bezpečnostných systémov pre fotovoltaiku. Táto komunikácia je využitá pre prepojenie systém Projoy a domácich PZTS prípadne DPPC.

Všetky kľúčové náležitosti a opatrenia zistené počas vypracovania diplomovej práce boli spracované do kontrolného zoznamu (kapitola 11.8), aby bol bežný spotrebiteľ schopný pripraviť, prípadne overiť ochranu svojho fotovoltaického systému pred požiarom.

Cieľom diplomovej práce bolo analyzovať a zhodnotiť riziká požiarnej bezpečnosti fotovoltaických systémov, identifikovať hlavné príčiny požiarov a navrhnúť opatrenia na ich minimalizáciu. Analýza a hodnotenie rizík požiarnej bezpečnosti fotovoltaických systémov boli dôkladne spracované v teoretickej časti, zatiaľ čo identifikácia príčin požiarov a návrh opatrení na ich minimalizáciu rozobrala podrobne praktická časť. Môžem konštatovať, že cieľ diplomovej práce bol splnený.

Na záver je dôležité pripomenúť, že hoci fotovoltaické systémy prinášajú významné výhody pre environmentálnu a energetickú udržateľnosť, je nevyhnutné venovať dostatočnú pozornosť ich požiarnej bezpečnosti. Kombináciou kvalitných materiálov, odborných inštalácií, moderných technológií a dôsledných regulácií môžeme dosiahnuť, že tieto systémy budú nielen efektívne, ale aj bezpečné. Výsledky tejto práce prispievajú k lepšiemu pochopeniu a riešeniu výziev spojených s požiarou bezpečnosťou fotovoltaických systémov, čo je kľúčové pre ich široké a bezpečné uplatnenie v praxi.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] UNITED NATIONS. What is renewable energy? *United Nations* [online]. [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: https://www.un.org/en/climatechange/what-is-renewable-energy?gclid=Cj0KCQiAw6yuBhDrARIsACf94RXjdf9DKxqNu-R04RrfT7o_Ur3kgws7EwQKkOJvK_wV29dfoQ_0PLQaAsiPEALw_wcB
- [2] BOŽÍKOVÁ, Monika. *OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE V TEORII A PRAXI*. SPU v Nitre, 2012. ISBN 978-80-552-0843-5.
- [3] ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY. How Does Solar Work? ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY. *Energy.gov* [online]. [cit. 2024-02-15]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/eere/solar/how-does-solar-work>
- [4] REMOTE ENERGY. What is solar energy? *Remote Energy* [online]. 2021 [cit. 2024-02-15]. Dostupné z: <https://www.remoteenergy.org/blog/what-is-solar-energy>
- [5] SOLAR ENERGY TECHNOLOGIES OFFICE. PV Cells 101: A Primer on the Solar Photovoltaic Cell. SOLAR ENERGY TECHNOLOGIES OFFICE. *Energy.gov* [online]. 2019, <https://www.energy.gov/eere/solar/articles/pv-cells-101-primer-solar-photovoltaic-cell> [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/eere/solar/articles/pv-cells-101-primer-solar-photovoltaic-cell>
- [6] TRANSFER MULTISORT ELEKTRONIK. Photovoltaic (PV) modules – the principle of photovoltaic cell operation. *Transfer Multisort Elektronik* [online]. 2023 [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://www.tme.com/in/en/news/library-articles/page/53249/photovoltaic-pv-modules-the-principle-of-photovoltaic-cell-operation/>
- [7] MCEVOY, Augustin Joseph, T. MARKVART a Luis CASTAÑER MUÑOZ. *Practical handbook of photovoltaics*. Waltham: Academic Press, c2012. ISBN 9780123859341.
- [8] SOLAR ENERGY TECHNOLOGIES OFFICE. PV Cells 101, Part 2: Solar Photovoltaic Cell Research Directions. *Energy.gov* [online]. 2019 [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/eere/solar/articles/pv-cells-101-part-2-solar>

photovoltaic-cell-research-directions

- [9] *Thin-Film Solar Panels* [online]. 2021 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://ases.org/thin-film-solar-panels/>
- [10] JUDE, Tamara. *Types of Solar Panels* [online]. 2023, 03/25/2024 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.thisoldhouse.com/solar-alternative-energy/reviews/types-of-solar-panels>
- [11] UKSOLARSAVINGS. CHOOSING THE RIGHT SOLAR PANEL: MONO-CRYSTALLINE VS. POLYCRYSTALLINE VS. THIN-FILM. *UK SOLAR SAVINGS* [online]. 2023 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <http://www.uksolarsavings.com/1/post/2023/09/choosing-the-right-solar-panel-monocrystalline-vs-polycrystalline-vs-thin-film.html>
- [12] DITLEV, Jesper a Miguel VIDUEIRA. *Photovoltaic systems: Recommendations on loss prevention: CFPA-E Guideline No 37:2018 F*. Copenhagen, 2018. Dostupné také z: https://cfpa-e.eu/app/uploads/2022/04/CFPA_E_Guideline_No_37_2018-F.pdf
- [13] SHERWOOD, Larry, Bob BACKSTORM, Dwayne SLOAN a Christopher FLUECKIGER. *Fire Classification Rating Testing of Stand-Off Mounted Photovoltaic Modules and Systems*. University of Central Florida, 2013. Dostupné také z: <http://www.solarabcs.org/about/publications/reports/flammability-testing/pdfs/solarabcs-36-2013-1.pdf>
- [14] *Solar tiles for BIPV, are they worth it?* [online]. In: . 2021 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://list.solar/news/solar-tiles-for/>
- [15] STRIDH, Bengt. *Världsunik byggnadsintegrering av solceller – Copenhagen International School* [online]. 2018 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://bengtsvillablogg.info/2018/11/22/varldsunik-byggnadsintegrering-av-solceller-copenhagen-international-school/>
- [16] HIESSSCHEME. *SolarInverter - What it is and how to choose the right one* [online]. [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.hiessscheme.org.uk/renewable-energy/solar-inverters/>

- [17] SOLAR. Solar Inverters: Types, Pros and Cons. *Solar.com* [online]. 2023 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.solar.com/learn/solar-inverter/>
- [18] WIGNESS, Sam. Types of Solar Batteries in 2024: A Comprehensive Guide. *Solar.com* [online]. 2023 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.solar.com/learn/types-of-solar-batteries/>
- [19] IGOYE. What are the Different Types of Solar Connectors? *Vydavatel' nenájděný* [online]. 2023 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://igoyeenergy.com/different-types-of-solar-connectors/>
- [20] JACKERY. The Ultimate Guide To Solar Panel Wires. *Jackery* [online]. 2023 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.jackery.com/blogs/knowledge/the-ultimate-guide-to-solar-panel-wires-cables>
- [21] HENZE, Andreas a Werner HILLEBRAND. *Elektrický proud ze slunce*. Ostrava: HEL, 2000. ISBN 80-86167-12-7.
- [22] JACKMAN, Josh. Should you put your solar panels in series or parallel? *The Eco Experts* [online]. 2024 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.theecoexperts.co.uk/solar-panels/series-or-parallel>
- [23] BATTLE BORN BATTERIES. What's The Difference Between Wiring Solar Panels in Series or Parallel? *Battle Born Batteries* [online]. 2021 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://battlebornbatteries.com/solar-panels-in-series-or-parallel/>
- [24] RENOGY MARKETING TEAM. A Guide Between Series and Parallel Connections. *Vydavatel' nenájděný* [online]. 2023 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.renogy.com/learn-series-and-parallel/>
- [25] ANTONY, Falk, Kerstin DÜRSCHNER a Karl-Heinz REMMERS. *Photovoltaics for professionals*. 2007. ISBN 9783934595439.
- [26] SOLAR LIGHTS MANUFACTURER. The Five Configurations for Solar Power. *Solar Lights Manufacturer* [online]. 2022 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.solarlightsmanufacturer.com/the-five-configurations-for-solar-power/>
- [27] TYCORUN. 15 important functions of solar inverter protection. *Tycorun Batteries* [online]. 2023, 14.12.2023 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z:

- <https://www.tycorun.com/blogs/news/inverter-protection>
- [28] ATPJOURNAL. Legislatívne a technické rámce fotovoltaiky na Slovensku (1). *Vydavateľ nenájdenny* [online]. 2015, 10.11.2015 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: https://www.atpjournals.sk/budovy/rubriky/prehľadove-clanky/legislativne-a-technicke-ramce-fotovoltaiky-na-slovensku-1.html?page_id=22372
- [29] FLUKE. Top 3 solar PV safety hazards and how to avoid them. *Fluke* [online]. [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/renewable-energy/solar-power-safety>
- [30] KABASI. Príčiny havárií fotovoltaických elektrární a preventívne opatrenia. *Poznatky* [online]. 2023 [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://sk.kbs-connector.com/info/causes-of-photovoltaic-power-station-accidents-78957157.html>
- [31] YAW APPIAH, Albert Yaw Appiah a Xinghua ZHANG. Review and Performance Evaluation of Photovoltaic Array Fault Detection and Diagnosis Techniques. *Hindawi*. 2019, **2019**(6953530), 19.
- [32] STORR, Wayne. Bypass Diodes in Solar Panels. *Basic Electronics Tutorials* [online]. [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <https://www.electronicstutorials.ws/diode/bypass-diodes.html>
- [33] ALHMOUD, Lina. Why Does the PV Solar Power Plant Operate Ineffectively? *Energies* [online]. Yarmouk University, 2023, **2023**(en16104074), 37 [cit. 2024-04-11]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/10/4074>
- [34] V Česku narástol počet požiarov fotovoltaiky spojených s jej neodbornou inštaláciou. *Slovenská asociácia fotovoltaického priemyslu a OZE* [online]. 2023, 7.9.2023 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.sapi.sk/clanok/v-cesku-narastol-pocet-poziarov-fotovoltaiky-spojenych-s-jej-neodbornou-instalaciou>
- [35] ČSN ONLINE. ČSN online pro jednotlivě registrované uživatele. *Vydavateľ nenájdenny* [online]. [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [36] REN21. *RENEWABLES 2020 GLOBAL STATUS REPORT*. Paris: REN21 Secretariat, 2020. ISBN 978-3-948393-00-7.

- [37] SEPANSKI, Annett, Florian REIL, Willi VAASSEN a Eckart JANKNECHT. *LEITFADEN Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung* [Online]. Köln, 2015. Dostupné také z: http://www.pv-brandsicherheit.de/fileadmin/downloads_fe/Leitfaden_Brandrisiko_in_PV-Anlagen_V01.pdf
- [38] BERGROTH, Elin a Greta TORSTENSSON. *Solar Photovoltaic Fire Risks: FE-analysis of fire exposed solar photovoltaic systems and comparison of current legislation and recommendations from different countries*. Luleå, 2023. Degree project. Luleå University of Technology.
- [39] *The National Fire Protection Association* [online]. [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.nfpa.org/about-nfpa>
- [40] SHAMS DUBAI. *PV ON BUILDINGS AND FIRE SAFETY: RECOMMENDATION FOR DRRG SOLAR PV SYSTEMS* [online]. 2015 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: https://www.dewa.gov.ae/images/smartinitiatives/PV_on_Buildings.pdf
- [41] CHIARAMONTE, Alessandra, Austin SMITH a Zachary HOOD. *Fire Safety of Solar Photovoltaic Systems in Australia*. Melbourne, 2016. Team project. Worcester Polytechnic Institute.
- [42] ORG, Nur, Muhammad SADIQ a Mohamad SAID. Fault tree analysis of fires on rooftops with photovoltaic systems. *Journal of Building Engineering*. 2021, **2022**(46), 13. ISSN 2352-7102.
- [43] NAMIKAWA, Shohei. *Photovoltaics and Firefighters' Operations: Best Practices in Selected Countries*. 12. New Energy and Industrial Technology Development Organization, 2017. ISBN ISBN 978-3-906042-60-2.
- [44] LAUKAMP, Hermann, Georg BOPP a Robin GRAB. *PV FIRE HAZARD - ANALYSIS AND ASSESSMENT OF FIRE INCIDENTS* [Online]. 2013.
- [45] SLOCABLE. Analýza príčin požiarnej nehody na jednosmernej strane systému výroby energie FV. <https://www.slocable.com.cn> [online]. 2022, 6.4.2022 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://slocable.com.cn:443/news/cause-analysis-of-fire->

accident-at-dc-side-of-pv-power-generation-system

- [46] PROJOY. PV ENERGY STORAGE SOLUTION (RAPID SHUTDOWN). *Projoy Electric* [online]. [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.projoy-electric.com/Solutions/PV-Energy-Storage-Solution-Rapid-Shutdown>
- [47] PROJOY. Datasheet_PEFS Firefighter Safety Switches with PID repair function 3-5 string. *Vydavatel' nenájděný* [online]. 2022, 23.11.2022 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: https://www.projoy-electric.com/File/2022-11-23-111202-_H2Cdp0U
- [48] HEYMAN. Norma hořlavosti UL 94. *Vydavatel' nenájděný* [online]. [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.heyman.cz/norma-horlavosti-ul-94>
- [49] TECONNECTIVITY. UV-RESISTANT SEALED CIRCULAR PLASTIC CONNECTORS (CPC). *Vydavatel' nenájděný* [online]. 2020 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchtrv&DocNm=6-1773700-2_UV_RESISTANT_SEALED_CPC&DocType=DS&DocLang=EN
- [50] PROJOY. Datasheet_PEFS Panel Level Rapid Shutdown DC24V. *Vydavatel' nenájděný* [online]. 2022, 18.10.2022 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.projoy-electric.com/File/2022-11-23-101103-5@3KmXyA>
- [51] PROJOY. Datasheet_PEFS_Panel Level Rapid Shutdown 24V (Control box). *Vydavatel' nenájděný* [online]. 2022, 18.10.2022 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: [https://www.projoy-electric.com/File/2022-11-23-101804-7c08ag\\$A](https://www.projoy-electric.com/File/2022-11-23-101804-7c08ag$A)
- [52] SIBERBOTICS. PROJOY FVE vypínač v krytu 1500V 25A 4MC4 - 2x string. *SiBeRobotics s.r.o* [online]. [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.siberobotics.cz/PROJOY-FVE-vypinac-v-krytu-1500V-25A-4MC4-2x-string-d55.htm?tab=description>
- [53] KOVE TOOLS S.R.O. - NÁŘADÍ A NÁSTROJE. PROJOY FVE vypínač v krytu 1500V 25A 4MC4. *Kovetools.cz* [online]. [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.kovetools.cz/solarni-systemy/projoy-fve-vypinac-v-krytu-1500v-25a-4mc4/>

- [54] ECOPRODUKT. Modulárny vypínač AC ETI SV 363 3p 63A. *ECOprodukt* [online]. [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://ecoprodukt.sk/p/87393-modularny-vypinac-ac-eti-002423314-sv-363-3p-63a-35145>
- [55] ELECTRIC-SOLAR. Projoy Battery Isolator 160V 125A DC MCB. *Electric-Solar* [online]. [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://electric-solar.co.uk/products/projoy-battery-isolator-160v-125a-dc-mcb>
- [56] WEBOVÉ APLIKACE S.R.O. - WWW.WEBAP.CZ. PVSTOP. *Profesionální vybavení pro složky IZS* [online]. [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: www.proizs.cz/produkt/pvstop/1557
- [57] PV-STOP. PVStop – Making Solar Energy Safe. *Solar PV Safety for Firefighters and Home Owners | PVStop* [online]. [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: <https://www.pv-stop.com/>
- [58] VALENTIN-SOFTWARE. PV*SOL premium. *Valentin Software | Planungs- und Simulationssoftware für erneuerbare Energien* [online]. [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/>
- [59] LUKÁŠ, Luděk. *Bezpečnostní technologie, systémy a management*. Zlín: VeRBuM, 2011-. ISBN 9788087500057.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

FV	fotovoltaika, fotovoltaický
CSP	concentrated solar power (koncentrovaná slnečná energia)
DC	direct current (jednosmerný prúd)
AC	alternating current (striedavý prúd)
SETO	Solar Energy Technologies Office (Úrad pre technológie solárnej energie)
ABX ₃	štruktúra vzorca perovskitu
OPV	organic photovoltaics (organická fotovoltaika)
BAPV	Building Additive Photovoltaics (stavebne prídavná fotovoltaika)
BIPV	Building integrated Photovoltaics (Integrované fotovoltaické systémy)
IEA	International Energetics Agency (medzinárodná energetická agentúra)
LiFePO ₄	lithiové batérie, ktoré sú uložené z lítia, železa a fosfátu
FiT	feed-in tariff (výkupná tarifa)
UPS	Uninterruptible Power Supply/Source (zdroj neprerušovaného napájania)
GFCI	ground fault circuit interrupter (prerušovač zemného obvodu)
AFCI	Arc-fault circuit interrupter (prerušovač obvodu pri vzniku oblúka)
CAT	prepäťové kategórie inštalácií
OOP	osobné ochranné prostriedky
PN	PN prechod je rozhranie polovodiča typu P a polovodiča typu N
SAPI	Slovenská asociácia pre fotovoltaickú energetiku
NSEE	Národná sieť pre elektrické rozvody
ÚRSO	Slovenský energetický regulačný úrad
ČERÚ	Český energetický regulačný úrad
STN	Slovenská technická norma
ČSN	Česká technická norma

CFPA-E	The Confederation of Fire Protection Associations Europe (Konfederácia požiarnej ochrany asociácií Európy)
REN21	Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (Sieť politiky obnoviteľnej energie pre 21. storočie)
EEG	The Renewable Energy Sources Act (Zákon o obnoviteľných zdrojoch energie)
BBR	Boverket's building regulations (stavebné predpisy Boverketu)
NFPA	National Fire Protection Association (Národná asociácia požiarnej ochrany)
DRRG	Distributed Renewable Resources Generation (Generovanie distribuovaných obnoviteľných zdrojov)
AFAC	Australasian Fire and Emergency Service Authorities Council (Národná rada pre požiarne a pohotovostné služby v Austrálii)
IP68	jeden z najvyšších stupňov odolnosti voči prachu aj vode
RSD	Rapid Shutdown Device (zariadenie okamžitého vypnutia)
NEC	National Electrical Code (Národný elektrický zákonník)
UL	Underwriters Laboratories (certifikačná organizácia)
UV	
PID	Potential-induced degradation (Potenciálne vyvolaná degradácia)
TUV	Technischer Überwachungs-Verein (Technické kontrolné združenie)
CE	conformité européenne (európska zhoda)
CB	dohoda týkajúca sa uznávania výsledkov skúšok podľa medzinárodných noriem IEC pre elektrickú bezpečnosť elektrických výrobkov
SAA	schválenia akreditované Spoločnou akreditačnou službou Austrálie a Nového Zélandu
VDC	volty jednosmerného prúdu
IEC	International Electrotechnical Commission (Medzinárodná elektrotechnická komisia)
GB/T	štandard nabíjania

PZTS	poplachové zabezpečovacie a tiesňové systémy
DPPC	dohľadové prijímacie poplachové centrum
PLC	powerline communication (komunikácia po elektrickej sieti)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázok 1 – základné typy FV modulov (panelov) [11]	16
Obrázok 2 – príklady inštalácií BAPV systémov [12]	20
Obrázok 3 – príklady inštalácií BIPV systémov [12]	20
Obrázok 4 – obrázky vľavo od stredu zobrazujú BIPV panely, pričom na obrázky vpravo zobrazujú bežné strešné krytiny. [14]	22
Obrázok 5 - Fasáda kodanskej medzinárodnej školy [15]	22
Obrázok 6 – Zapojenie solárnych panelov v sérii [vlastný]	26
Obrázok 7 - Zapojenie solárnych panelov paralelne [vlastný]	27
Obrázok 8 – Umiestnenie obtokových a blokovacích diód [vlastný]	41
Obrázok 9 - Káble prechádzajúce požiarou stenou by mali byť chránené proti požiaru. [12]	44
Obrázok 10 – Graf percentuálneho zastúpenia komponentov na vzniku požiarov v Austrálii 2009 – 2015 [vlastný]	54
Obrázok 11 - Graf percentuálneho zastúpenia komponentov na vzniku požiarov vo Veľkej Británii [vlastný]	56
Obrázok 12 - Graf percentuálneho zastúpenia komponentov na vzniku požiarov v Nemecku 1995 – 2012 [vlastný]	58
Obrázok 13 - Graf percentuálneho zastúpenia komponentov na vzniku požiarov v Nemecku 2012 – 2021 [vlastný]	60
Obrázok 14 - Graf percentuálneho zastúpenia komponentov na vzniku požiarov v priemere [vlastný]	62
Obrázok 15 - Graf percentuálneho zastúpenia komponentov na vzniku požiarov v Západnej Austrálii 2009 – 2015 [vlastný]	64
Obrázok 16 – Graf percentuálneho zastúpenia typu montáže FV systému na vzniku požiarov v Nemecku 1995-2012 [vlastný]	65
Obrázok 17 – vyhorené konektory na vstupe do meniča [45]	66
Obrázok 18 – miesto požiaru FV systému so zhorenou zlučovacou skrinkou [44]	69
Obrázok 19 – DC izolátor so zuhoľnatými svorkami po šiestich rokoch prevádzky [44]	70
Obrázok 20 - Vodotesné IP65 rozvodné boxy po 15 rokoch prevádzky [44]	70
Obrázok 21 - PROJOY 5 reťazcový požiarový istič PEFS-EL40H-10 [47]	73

Obrázok 22 – schéma zapojenia systému PROJOY s odpájaním na úrovni panelov [50]	73
Obrázok 23 – možnosti vypnutia zariadenia RSD [vlastný].....	74
Obrázok 24 – podmienky montáže zariadenia PROJOY PEFS- PL120S-21 [50]	75
Obrázok 25 - PROJOY PEFS- PL120S-21 pre 4 FV panely [50]	75
Obrázok 26 - PROJOY ovládacia skrinka PEFS-PCY-S-60 k odpájačom PEFS [51].....	76
Obrázok 27 – Projoy PEDS150H [52].....	77
Obrázok 28 – schéma zapojenia DC izolátora do FV systému [53].....	77
Obrázok 29 – Istič ETI SV 363 3p 63A [54]	78
Obrázok 30 - Projoy PEBS-L-125A-2P-DC [55]	79
Obrázok 31 – PVSTOP prístroj [57].....	81
Obrázok 32 – Logo programu PV SOL Premium [58].....	82
Obrázok 33 – Vymodelovaný FV systém v programe PV SOL PREMIUM	83
Obrázok 34 – schéma zapojenia FV systému s odpájačom na úrovni reťazcov.....	84
Obrázok 35 – schéma zapojenia panelov a odpájačov Projoy PL120S-21 [vlastný]	85
Obrázok 36 – schéma zapojenia systému PROJOY, PZTS a DPPC [vlastný].....	86
Obrázok 37 – zapojenie odpájačov panelov k FV meniču s certifikáciou SUNSPEC [vlastný].....	86

SEZNAM TABULEK

Tabuľka 1 – porovnanie základných typov FV panelov [10]	15
Tabuľka 2 – porovnanie právnej úpravy a predpisov týkajúcich sa fotovoltaických systémov v rôznych krajinách [vlastný]	49
Tabuľka 3 - Percentuálne zastúpenie komponentov na vzniku požiarov v Austrálii 2009 – 2015 [41]	52
Tabuľka 4 - Percentuálne zastúpenie daného komponentu na vzniku požiarov vo Veľkej Británii [42]	55
Tabuľka 5 - Percentuálne zastúpenie daného komponentu na vzniku požiarov v Nemecku 1995-2012 [43].....	57
Tabuľka 6 - Percentuálne zastúpenie daného komponentu na vzniku požiarov v Nemecku 2012-2021 [42].....	59
Tabuľka 7 - Percentuálne zastúpenie daného komponentu na vzniku požiarov – priemer [vlastný]	61
Tabuľka 8 - Percentuálne zastúpenie daného komponentu na vzniku požiarov v Západnej Austrálii 2009 – 2015 [41]	63
Tabuľka 9 - Percentuálne zastúpenie typu montáže FV systému na vzniku požiarov v Nemecku 1995-2012 [44].....	65
Tabuľka 10 – ekonomické hodnotenie základného zabezpečenia [vlastný].....	87
Tabuľka 11 – ekonomické hodnotenie vysokej úrovne zabezpečenia [vlastný]	87
Tabuľka 12 – Kontrolný zoznam pre prípravu systému v oblasti požiarnej bezpečnosti [vlastný]	90