



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Ověření postupů zásahu dle Bojového řádu jednotek
požární ochrany při požárech fotovoltaických
systémů

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program: [OCHRANA OBYVATELSTVA](#)

Autor: Bc. Martin Lapka

Vedoucí práce: Mgr. Štěpán Kavan, Ph.D

České Budějovice 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou/diplomovou práci s názvem „**Ověření postupů zásahu dle Bojového řádu jednotek požární ochrany při požárech fotovoltaických systémů**“ jsem vypracoval/a samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské/diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby bakalářské/diplomové práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé bakalářské/diplomové práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 3. 5. 2018

.....
podpis

Poděkování

Děkuji plk. Mgr. Štěpánovi Kavanovi, Ph.D., za odborné vedení a ochotu při vypracování diplomové práce. Dále velký dík patří mjr. Ing. Františkovi Hrachovi za cenné rady z praxe. Poděkování patří také rodině za podporu při studiu.

Ověření postupů zásahu dle Bojového řádu jednotek požární ochrany při požárech fotovoltaických systémů

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na problematiku požárů malých fotovoltaických elektráren umístěných na střeších budov. Při požáru fotovoltaické elektrárny je pro zasahující hasiče velmi nebezpečná část technologie tvořící elektrárnu. V této části elektrárny je velmi problematické vypínání elektrického proudu a hasičů tak hrozí úraz elektrickým proudem.

V teoretické části diplomové práce je popsán fyzikální princip funkce fotovoltaického článku a celého panelu, je zde výčet jednotlivých částí fotovoltaického systému a popis jejich funkce. Další kapitolou teoretické části je analýza rizik z pohledu zasahujících hasičů u požárů FVE. Dále jsou uvedeny a rozepsány metodické listy Bojového řádu jednotek požární ochrany, které se dají využít při likvidaci požárů fotovoltaických systémů.

Ve výzkumné části je uveden popis a fotodokumentace navštívených fotovoltaických elektráren, kdy prohlídka byla prováděna s důrazem na možný požár objektu. Důležitou částí této kapitoly jsou kazuistiky z oblasti požárů FVE a úrazů elektrickým proudem. Dále je zpracován přehled několika již uskutečněných zásahů na požár fotovoltaické elektrárny umístěné na střeše budovy. Na konec autor identifikoval slabá místa pro efektivní a bezpečné vedení zásahu a zpracoval dokumentaci zdolávání požárů pro navštívené objekty s FVE. Diskuze obsahuje uvedení zjištěných nedostatků v metodických listech Bojového řádu jednotek požární ochrany. Autor zde uvádí možná rizika pro zasahující hasiče na navštívených FVE a porovnává eliminaci těchto rizik při zpracování dokumentace zdolávání požárů. Dále se v diskuzi zmiňuje o fotovoltaických elektrárnách v zátopových územích a uvádí možná nebezpečí při zatopení FVE. Konečně je uveden návrh na úpravu Bojového řádu jednotek požární ochrany a opatření k zajištění větší bezpečnosti hasičů při požárech fotovoltaických elektráren.

Klíčová slova

požár; fotovoltaická elektrárna; bojový řád; jednotka požární ochrany, úraz elektrickým proudem; dokumentace zdolávání požárů

Verification of the intervention procedures according to the Combat order of fire protection units in case of fires of photovoltaic systems

Abstract

The diploma thesis focuses on the issue of fires of small photovoltaic power plants located on the roofs of buildings. When a photovoltaic power plant is being fired, the photovoltaic system is a very dangerous part of the power generation technology. In this part of the power plant, it is very problematic that the switching off of the electric dc current and the fire-fighters can cause electric shock.

In the theoretical part of the diploma thesis there is described the physical principle of the function of the photovoltaic cell and the entire panel, there is a list of individual parts of the photovoltaic system and a description of their function. Another chapter of the theoretical part is the risk analysis from the viewpoint of intervening firefighters in the fires of PPS. In addition, the methodological sheets of the Combat Order of fire protection units, which can be used in the liquidation of fires of photovoltaic systems, are listed and detailed.

In the research part there is description and photodocumentation of the visited photovoltaic power plants, where the tour was carried out with an emphasis on the possible fire of the object. An important part of this chapter is the case studies of PPS fires and electric shocks. In addition, an overview of several fire interventions already carried out on the photovoltaic power plant located on the roof of the building. Finally, the author identified weaknesses for effective and safe intervention and processed the firefighting documentation for the PPSs visited. The discussion contains an indication of the identified shortcomings in the methodological sheets of the Combat Order of Fire Protection Units. The author outlines the possible risks for intervening firefighters at the PPSs visited and compares the elimination of these risks in the processing of firefighting documentation. Also mentions photovoltaic power plants in floodplains and points to potential hazards when flooding the PPS. Finally, a proposal is made to modify the Combat Order of Fire Protection Units and measures to ensure greater security of firefighters during fires of photovoltaic power plants.

Key words

Fire; photovoltaic power plant; combat order; fire protection unit; electric shock; firefighting documentation

OBSAH

Úvod.....	10
1 Teoretická část.....	11
1.1 Fotovoltaický systém	11
1.1.1 Princip fotovoltaického článku	11
1.1.2 Druhy fotovoltaických článků	13
1.1.3 Fotovoltaický panel.....	15
1.1.4 Ukotvení fotovoltaických panelů.....	17
1.1.5 Střídač	17
1.1.6 Kabeláž	18
1.1.7 Jištění a odpojení	18
1.1.8 Ochrana před bleskem a přepětím	21
1.1.9 Akumulátory pro ostrovní provoz.....	21
1.2 Provoz fotovoltaického systému	23
1.2.1 FVE spolupracující s distribuční soustavou.....	23
1.2.2 Ostrovní systém	23
1.2.3 Hybridní systém.....	24
1.3 Bezpečnost a prevence	25
1.3.1 Ochrana před úrazem elektrickým proudem.....	26
1.3.2 Zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně	27
1.3.3 Vyhláška č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb 27	
1.3.4 Vyhláška č. 246/2001 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci).....	28
1.3.5 Nařízení vlády č. 118/2016 Sb., o posuzování shody elektrických zařízení určených pro používání v určitých mezích napětí při jejich dodávání na trh.....	28
1.4 Analýza rizik	29

1.4.1	Nebezpečí úrazu elektrickým proudem	29
1.4.2	Nebezpečí zřícení konstrukcí.....	32
1.4.3	Nebezpečí pádu.....	33
1.4.4	Nebezpečí intoxikace, poleptání, výbuchu a rizika spojená s akumulátory 33	
1.4.5	Nebezpečí vytažení elektrického oblouku a popálení.....	34
1.4.6	Nebezpečí zpětného střídavého proudu	35
1.4.7	Špatná informovanost velitele zásahu.....	35
1.5	Bojový řád.....	36
1.5.1	Metodický list 3/N Nebezpečí intoxikace.....	36
1.5.2	Metodický list 6/N Nebezpečí pádu.....	37
1.5.3	Metodický list 14/N Nebezpečí úrazu elektrickým proudem	37
1.5.4	Metodický list 18/N Nebezpečí zřícení konstrukcí.....	39
1.5.5	Metodický list 1/P Zdolávání požáru.....	40
1.5.6	Metodický list 13/P Hašení požáru v podkroví a v půdním prostoru	41
1.5.7	Metodický list 15/P Požáry střešních konstrukcí.....	41
1.5.8	Metodický list 25/P Hašení vodou elektrických zařízení a vedení pod napětím do 400 V.....	42
1.5.9	Metodický list 47/P Požáry střešních konstrukcí s fotovoltaickým systémem	42
1.5.10	Metodický list 48/P Požáry střešních konstrukcí s trubicovým fotovoltaickým systémem.....	44
2	Cíl práce a výzkumná otázka.....	45
2.1	Dílčí cíle	45
2.2	Výzkumná otázka.....	45
3	Metodika	46
3.1	Výběr objektů s FVE.....	47
4	Výsledky	48

4.1	Fotovoltaická elektrárna č. 1	48
4.2	Fotovoltaická elektrárna č. 2	50
4.3	Fotovoltaická elektrárna č. 3	52
4.4	Fotovoltaická elektrárna č. 4	53
4.5	Experimentální požár a kazuistiky z oblasti bezpečnosti hasičů	55
4.5.1	Pokusy s FV panely	55
4.5.2	Experimentální požár FV systému.....	56
4.5.3	Elektrická vodivost místa zásahu.....	58
4.5.4	Účinky stejnosměrného elektrického proudu na lidské tělo	59
4.5.5	Hašení vodou elektrických zařízení pod napětím	59
4.5.6	Měření krokového napětí ve vodě	61
4.5.7	Provedení hasebního zásahu	62
4.5.8	Proudnice použitelné pro hašení pod napětím	63
4.5.9	Umělé osvětlení a měsíční svit	65
4.6	Požáry s přítomností fotovoltaických systémů	66
4.6.1	Požár fotovoltaické elektrárny na střeše, Baška	66
4.6.2	Požár střechy v Plzni.....	67
4.6.3	Požár bývalého cukrovaru Zákolany	68
4.6.4	Požár skladové haly ve Všechromech	69
4.6.5	Požár střechy rodinného domu Tlustovousy.....	71
4.6.6	Požár střechy sportovní haly v Berouně	72
4.7	Dokumentace zdolávání požárů	74
5	Diskuze	83
5.1	Bojový řád jednotek požární ochrany	83
5.2	Dokumentace zdolávání požárů	85
5.3	Nebezpečí na navštívených fotovoltaických elektrárnách	86
5.4	Fotovoltaické elektrárny při povodních	88

5.5 Návrh na zajištění větší bezpečnosti zasahujících hasičů	89
Závěr	91
Seznam literatury	93
Seznam příloh a obrázků.....	98
Seznam zkratk	100

ÚVOD

Fotovoltaické elektrárny se v České republice instalují přibližně od roku 2003. Zpočátku instalace probíhaly na střechy budov a v malých výkonech. V období dotování obnovitelných zdrojů elektrické energie došlo k rozšíření instalací FVE i mimo zástavbu a docházelo k instalování elektráren o instalovaných výkonech v řádech MW. Během patnácti let došlo k množství požárů FVE ať už mimo zástavbu nebo přímo na budovách. Během této doby docházelo a dochází mezi hasiči ke žhavé diskuzi jak při takových požárech postupovat a hlavně jak ochránit sebe před úrazem elektrickým proudem. Na téma požáry fotovoltaických existuje velké množství odborných i neodborných článků, ale v zásadě se v nich opakují stejné informace. Až v roce 2011 proběhl výzkum hasičů v Plzeňském kraji, který některé otázky ohledně fotovoltaických elektráren objasnil. Současně proběhl i výzkum Bavorského hasičského sboru ve spolupráci s výzkumným ústavem TÜV Rheinland. Tento výzkum se problematikou FVE zabýval ještě více do hloubky a zkoumal např. i příčiny vzniku fotovoltaických elektráren.

Požáry fotovoltaických elektráren jsou pro zasahující členy jednotek požární ochrany nebezpečné hlavně z důvodu nemožnosti vypnutí části elektroinstalace, která zůstává po dobu zásahu stále pod napětím. Ve většině případů fotovoltaických elektráren se jedná o životu nebezpečné napětí. Cílem této diplomové práce je objasnění hrozeb souvisejících s požáry fotovoltaických systémů a upozornění na nedostatky v právních předpisech, normách nebo vnitřních předpisech jako je Bojový řád jednotek požární ochrany. Výstupem práce by mělo být určité doporučení, aby se v odborné literatuře nemusely objevovat taková pesimistická slova: *„Z hlediska legislativy je to ještě horší. Je sice vydán GRH HZS ČR metodický list 25 P: Hašení vodou elektrických zařízení pod napětím do 400 V, ovšem zde uvedené a tedy povolené proudnice již se několik let nevyrábějí. ČSN 34 3085 „Předpisy pro zacházení s el. zařízením při požárech a zátopách“ z roku 1962 tuto problematiku z pohledu nových technologií, hasebních postupů i nových technických prostředků neřeší již vůbec. Takže je v podstatě na veliteli zásahu jestli se rozhodne být hrdinou nebo vězněm“* (Thomiczek a Trčka, 2013, s. 21).

1 TEORETICKÁ ČÁST

V teoretické části diplomové práce je popsána fotovoltaická elektrárna z technologického hlediska, obsahuje popis fyzikálního principu fotoelektrického jevu v polovodiči, typy používaných FV článků a panelů, elektroinstalaci potřebnou pro správnou funkci systému, elektrotechnickou výzbroj a popis jednotlivých systémů připojení k elektrizační soustavě. Dále je uveden výtah z českých právních předpisů týkajících se bezpečnosti fotovoltaických systémů a byla provedena analýza rizik souvisejících se zásahem na požár fotovoltaického systému. Po analýze rizik následuje rozbor metodických listů Bojového řádu jednotek požární ochrany, které se týkají zásahů při požárech rodinných domů a fotovoltaických systémů umístěných na střechách.

1.1 Fotovoltaický systém

Světlo dopadající na zemi má využitelnou energii okolo 1400 W/m^2 , tato energie se může využít k výrobě elektrické energie. Výroba elektrické energie z dopadajících fotonů využívá princip fotoelektrického jevu. V současné době je v České republice instalovaný výkon ve fotovoltaických zdrojích přibližně $2\,067 \text{ MW}$ a celkové množství vyrobené elektřiny fotovoltaickými elektrárnami za rok 2016 je $2\,131\,454 \text{ MWh}$ (Roční zpráva o provozu ES ČR, 2016). Fotovoltaické elektrárny jsou vedeny jako obnovitelné zdroje elektrické energie, jako malé fotovoltaické elektrárny se označují FVE o špičkovém výkonu do 10 kW , tyto elektrárny bývají zpravidla umístěné na střechách budov.

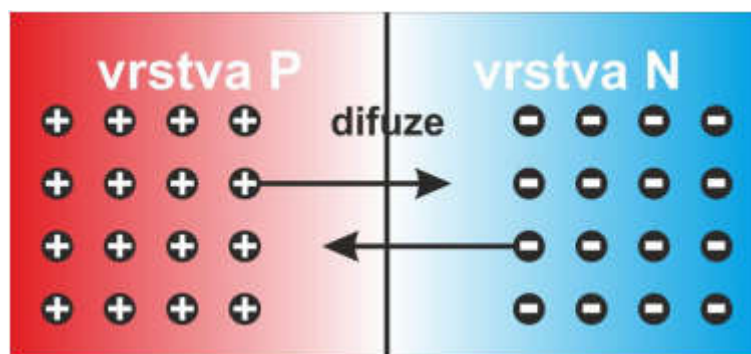
1.1.1 Princip fotovoltaického článku

Fotovoltaický článek je polovodičová součástka, která za pomoci fotovoltaického jevu přeměňuje dopadající světlo na elektrickou energii. Fotovoltaický jev jako první roku 1839 pozoroval Edmond Becquerel (Kopp, 2013).

Dnešní fotovoltaické články se vyrábějí převážně z křemíku. Křemík je druhým nejvíce zastoupeným prvkem v zemské kůře, čistý křemík se však v přírodě nevyskytuje a musí se vyčistit až na čistotu $99,99998\%$ (Skupina ČEZ, nedatováno).

Běžný křemíkový fotovoltaický článek funguje na principu dvou křemíkových vrstev, které jsou různě dotované. Vrchní strana, na kterou dopadá sluneční světlo je záporně

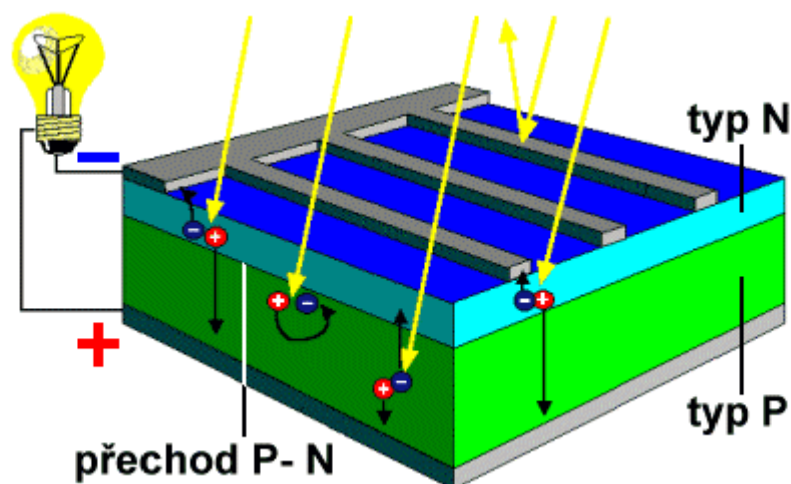
dotovaná fosforem, tím vznikne vrstva N. Opačná strana je kladně dotovaná bórem, tato vrstva se nazývá P. Mezi vrstvami vznikne P – N přechod, který vede elektrický proud pouze jedním směrem.



Obr. 1: Tvorba prostorového náboje v polovodiči. Zdroj: Kopp, 2013

Pro sběr elektrického proudu z fotovoltaického článku slouží elektrody, které jsou umístěné na přední a zadní straně článku. Zadní strana je celoplošně pokryta hliníkovou nebo stříbrnou pastou, která tvoří elektrodu. Přední elektroda je tvořena mřížkou pro co největší prostupnost světla k článku. Vysokou absorpci fotonů zajišťuje antireflexní vrstva. Antireflexní vrstva dává fotovoltaickým článkům jejich typickou barvu, šedá se používá pro monokrystalické články a modrá pro polykrystalické články (Haselhuhn, 2011). Fotony dopadající na fotovoltaický článek musí mít dostatečnou energii, aby byly schopné uvolňovat elektrony z N vrstvy polovodiče. Minimální energie fotonu pro uvolnění elektronu je 1,12 elektronvoly. Maximální vlnová délka pro uvolnění elektronu je tedy 1105 nm, což odpovídá infračervenému záření (Skupina ČEZ, nedatováno).

Při dopadu světla o dostatečné energii na N vrstvu dojde k uvolnění elektronů, které se hromadí na přechodu N a P vrstvy. Vlivem hromadění volných elektronů dochází k nárůstu napětí na P – N přechodu polovodiče. Po dosažení napětí přibližně 0,6 voltu dojde k překročení prahového napětí a křemíkový polovodič se stane vodivým. Přechodem polovodiče do vodivého stavu začíná fotovoltaický článek vyrábět elektrický proud. Vlivem odrazu dopadajícího světla, zastíněním článků předními kontakty a nevyužitím celého spektra dopadajícího světla dosahují komerčně vyráběné fotovoltaické články účinnosti 15 – 20%.



Obr. 2: Princip funkce fotovoltaického článku.

Zdroj: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>

1.1.2 Druhy fotovoltaických článků

➤ Monokrystalické články

Monokrystalické křemíkové články jsou vyrobeny z jediného krystalu, mají čtvercový tvar nebo čtvercový tvar se zaoblenými rohy, délka hrany je 4, 5 nebo 6 palců. Dále se můžeme setkat s šestihrannými články, při jejich výrobě nedochází k tak velké spotřebě materiálu. Povrch monokrystalického článku je tmavomodrý až černý. Kvalita monokrystalických článků je vysoká a účinnost dosahuje okolo 20%. Monokrystalický křemík se vytahuje pomocí zárodku z křemíkové taveniny o teplotě 1420 °C do ingotů o průměru až 30 cm a délky několik metrů. Poté se křemíkové tyče ořežou na požadovaný tvar, např. čtverec a následně se tento polotovar řeže na destičky o tloušťce 0,3 mm. Na destičky, které jsou již typu P se napaří tenká vrstva typu N. Následně se umístí kontaktní a antireflexní vrstvy (Haselhuhn, 2011).

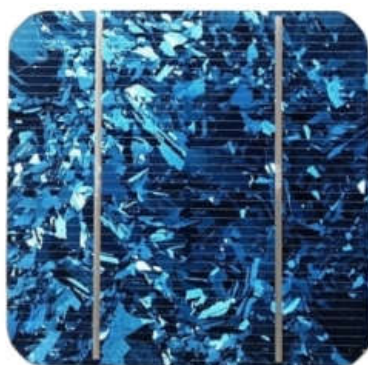


Obr. 3: Monokrystalický článek.

Zdroj: http://www.vetrna-energie.cz/energie-zivlu/fotovoltaika_11

➤ ***Polykrystalické články***

Polykrystalické články jsou tvořeny z více krystalů a dají se snadno rozpoznat podle třpytící se krystalické struktury křemíkového článku. Články se vyrábějí čtvercové o hraně 4, 5, 6 nebo 8 palců. Výroba polykrystalického křemíku je jednodušší a levnější než výroba monokrystalického křemíku. Při výrobě se využívá metoda blokového lití, při které vznikají křemíkové bloky o hraně 40 cm, ze kterých se následně řezou křemíkové destičky. Litím tekutého křemíku vznikají krystaly s rozdílnou orientací. Další postup výroby je shodný s výrobou monokrystalického fotovoltaického článku. Účinnost polykrystalického článku je oproti monokrystalickému menší, pohybuje se okolo 15% (Haselhuhn, 2011)

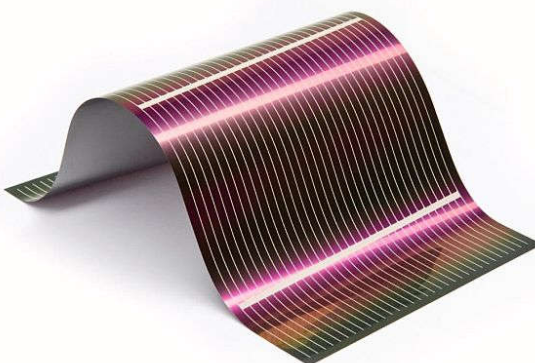


Obr. 4: Polykrystalický článek.

Zdroj: <https://www.tzb-info.cz/5073-problemy-fotovoltaickych-projektu-z-hlediska-energetickeho-auditu>

➤ *Tenkovrstvý článek*

Tenkovrstvý křemíkový článek je tvořený slabou vrstvou amorfního křemíku, tím netvoří pravidelnou krystalickou strukturu, ale neuspořádanou síť. Vyrábějí se aplikací slabé vrstvy amorfního křemíku na podklad jako je například folie nebo sklo. Nevýhodou tenkovrstvých článků je jejich nízká účinnost, která se pohybuje okolo 10%. V budoucnu po zdokonalení výrobní technologie lze očekávat jejich rozšíření např. na střechy, protože se dají aplikovat přímo na střešní krytinu bez nutnosti použití kotvících prvků. Výhodou tenkovrstvých článků je menší citlivost na okolní teplotu a možnost transparentnosti článku, což umožní aplikaci např. i do oken budov (Haselhuhn, 2011).



Obr. 5: Tenkovrstvý článek.

Zdroj: <http://www.solarninovinky.cz/index.php?rs=4&rl=2010032102&rm=29>

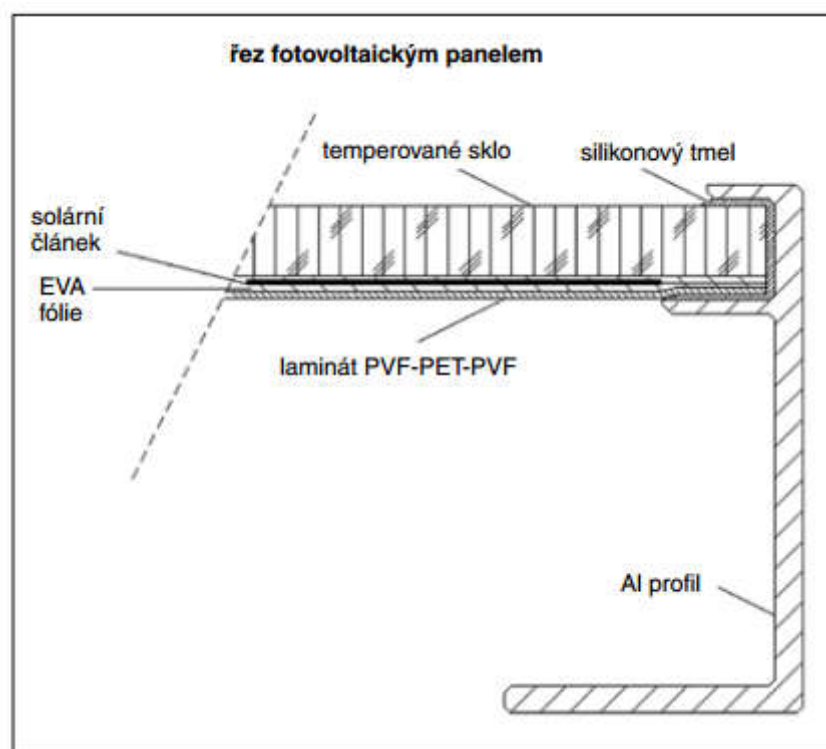
1.1.3 Fotovoltaický panel

Fotovoltaické panely jsou složeny z fotovoltaických článků stejného typu, které jsou v panelu sério – paralelně spojeny pro poskytnutí žádaného stejnosměrného napětí a výkonu. Napětí na zatížených křemíkových člancích se pohybuje okolo 0,5 V. Pospojováním jednotlivých článků vzniká prakticky využitelnější stejnosměrné napětí, nejčastěji 12 a 36 V. Maximální výkon panelu je dán jeho plochou (Straka, 2010).

Fotovoltaické panely jsou v našich podmínkách většinou konstruovány na ozáření 1000 W/m², množství vzduchu AM 1.5 a teplotu vzduchu 25 °C. Při těchto podmínkách by panel měl dodávat největší výkon. U panelů běžně používaných na fotovoltaické elektrárny se maximální výkon pohybuje mezi 200 – 300 W. Ideální sklon fotovoltaického panelu je v České Republice 35° při orientaci na jih. Udávaná životnost

panelů se pohybuje mezi 20 – ti a 30 – ti lety. Váha panelu je přibližně 25 kg (Straka, 2010).

Samotný fotovoltaický panel se skládá z několika částí. Na přední straně panelu je temperované sklo, které odolá nárazu i velkých krup. Pod sklem je plastová EVA (etylvinylacetát) folie ve které jsou zataveny pospojované fotovoltaické články. Zadní stranu panelu tvoří laminátová kompozice. Panely jsou zarámovány a zatmeleny silikonovým tmelem do hliníkového profilu. Dále jsou opatřeny krabicí pro připojení kabelů. Pro správnou funkci panelu je nutná ochrana fotovoltaických článků před povětrnostními vlivy a nečistotami (Poulek a Linhart, 2010)



Obr. 6: Náčrt fotovoltaického panelu.

Zdroj: Časopis Elektro 3/2010

➤ **Trubicové fotovoltaické panely**

Trubicové fotovoltaické panely jsou určeny pro montáž na ploché střechy. Jednotlivé panely se skládají z několika dvojitých trubic, kde na vnitřní trubici je celoplošně umístěn tenkovrstvý fotovoltaický článek a venkovní trubice slouží k ochraně před vnějšími vlivy, mezi těmito trubicemi je silikonový gel, který slouží jako čočka. Základem pro dobrou účinnost trubicových panelů je reflexní povrch střechy. Díky

odrazu světla od povrchu střechy je využita difúzní složka záření, tzn. i světlo, které na panely nedopadá pod ideálním úhlem. Výhodou trubicových panelů je právě využití odrazu slunečních paprsků od střechy, čímž je uspořena plocha pro instalaci panelů. Pro dosažení stejného instalovaného výkonu je zapotřebí přibližně dvojnásobná plocha klasických plochých panel oproti trubicovým panelům (Vykydal, 2010)



Obr. 7: Trubicový fotovoltaický panel.

Zdroj: <http://inhabitat.com/how-solyndras-solar-tubes-rocked-clean-power-in-2009/>)

1.1.4 Ukotvení fotovoltaických panelů

Při instalaci fotovoltaického systému na střechu je nutné panely ukotvit. Složitost konstrukce pro uchycení panelů závisí sklonu střechy a druhu střešní krytiny. Kotvicí prvky jsou tvořeny převážně hliníkovými profily a jejich provedení se liší podle výrobců. Trubicové fotovoltaické panely se zpravidla nekotví a střechu drží vlastní vahou.

1.1.5 Střídač

Střídač v systému fotovoltaické elektrárny slouží k přeměně stejnosměrného napětí z fotovoltaického panelu na střídavé napětí. Výstupní napětí by v ideálním případě mělo mít sinusový průběh o frekvenci 50 Hz a efektivní hodnotě 230 V. Střídače lze rozdělit na jednofázové a třífázové nebo na řízené sítě a samostatně řízené.

Jednofázové střídače se využívají pro fotovoltaické elektrárny s nižším instalovaným výkonem, zpravidla do 5 kWp. Nevýhodou jednofázového střídače je kvalita

výstupního střídavého napětí. U větších fotovoltaických zařízení se využije třífázových střídačů z důvodu souměrného napájení všech tří fází veřejné rozvodné sítě. Střídače řízené sítí využívají pro spínání výkonových prvků impulzy ze sítě. Tyto prvky spínají v taktu 50 Hz, a tím vzniká na výstupu obdélníkové napětí a fázový posun, který způsobuje rušení v síti.

Samostatně řízené střídače využívají pro řízení výkonových tranzistorů mikroprocesor s předem daným algoritmem. Mikroprocesor pro spínání tranzistorů využívá pulzně šířkovou modulaci, pomocí které se výstupní napětí blíží sinusovému průběhu. Pro vyhlazení výstupního napětí se využívá kondenzátorů. Z důvodu samostatného řízení je nutné sfázování s veřejnou sítí. Do samostatně řízených střídačů je implementováno automatické vypnutí v případě výpadku elektrického proudu, je to z důvodu nebezpečí zpětného proudu v rozvodné síti.

1.1.6 Kabeláž

Pro fotovoltaické systémy se využívají dva typy kabelů. DC kabely se využívají pro přenos elektrické energie od fotovoltaických panelů ke střídači. Provedení kabelů může být jednovodičové nebo dvouvodičové do 1 kV. Podle instalovaného výkonu se použije kabel odpovídajícího průřezu. Pro přenos elektrické energie od střídače se používají AC kabely běžně používané pro rozvod elektrické energie dle platných norem. Při výběru kabelů je nutné brát v úvahu spoustu požadavků. Kabeláž je nutné dimenzovat na proudovou zatížitelnost, mechanické namáhání, úbytek napětí a s ohledem na oteplení zkratovými proudy.

1.1.7 Jištění a odpojení

➤ Jištění stejnosměrných rozvodů

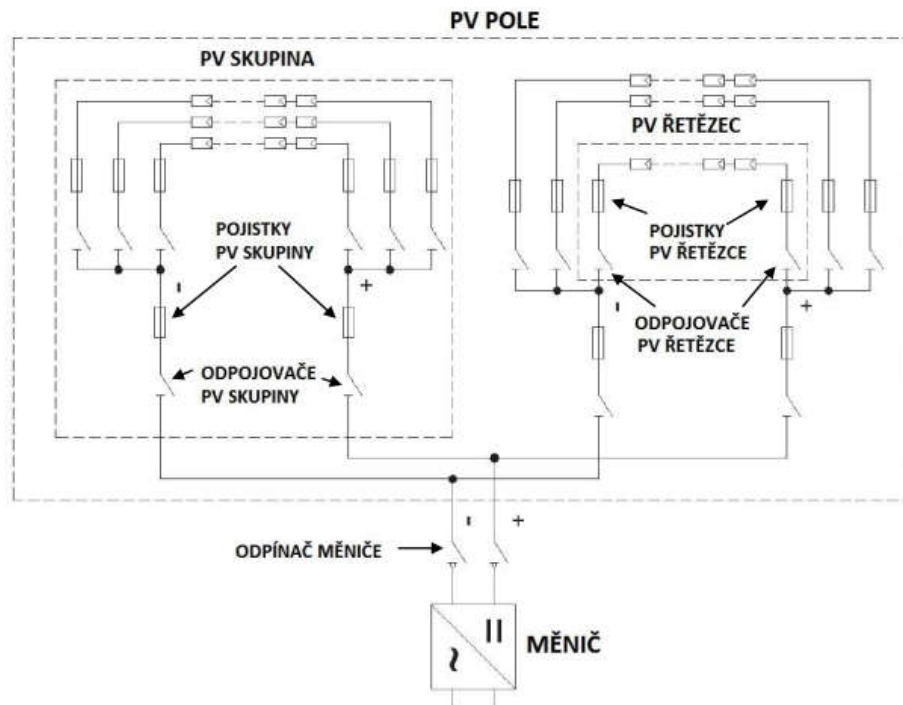
Velmi důležitá část ve fotovoltaice je jištění stejnosměrných rozvodů. Tato ochrana se uplatňuje už od samotných článků, přes ochranu řetězců a po samotné pole fotovoltaických panelů před měničem. První věcí, před kterou je potřeba články chránit je částečné zastínění panelu. Při zastínění některých článků panelu, se tyto články stanou zátěží a procházející proud může tyto články ohřát až na teplotu vedoucí k jejich zničení. Proti takovému proudu nelze chránit jistíci prvky, protože proud není vyšší než zkratový. Ochrana proti tomuto poruchovému stavu je pomocí tzv. bypass diod. Tyto diody odvedou proud mimo fotovoltaický článek (Kocanda, 2013).

Zkratový proud fotovoltaického panelu je jen nepatrně vyšší, než proud, se kterým panel za normálního stavu pracuje, proto je panel prakticky „zkratuvedorný“. Tím odpadá jištění panelu proti nadproudům. Fotovoltaické řetězce nebo také stringy už je nutné chránit. Specifikem jištění stejnosměrných rozvodů je nutnost chránit oba póly. Nelze použít pojistky běžně používané ve střídavých rozvodech, ale pojistky určené pro fotovoltaická zařízení daná normou. Fotovoltaické řetězce se zpravidla chrání válcovými pojistkami, skupiny a pole pojistkami nožovými. V kombinaci s válcovými pojistkami je vhodné použít odpojovače, které umožní bezpečnou výměnu pojistek a odpojení celého řetězce (Kocanda, 2013).



Obr. 8: Válcová pojistka a odpojovač pro válcové pojistky.

Zdroj: Příručka elektrotechnika - Jisticí přístroje II, s. 70



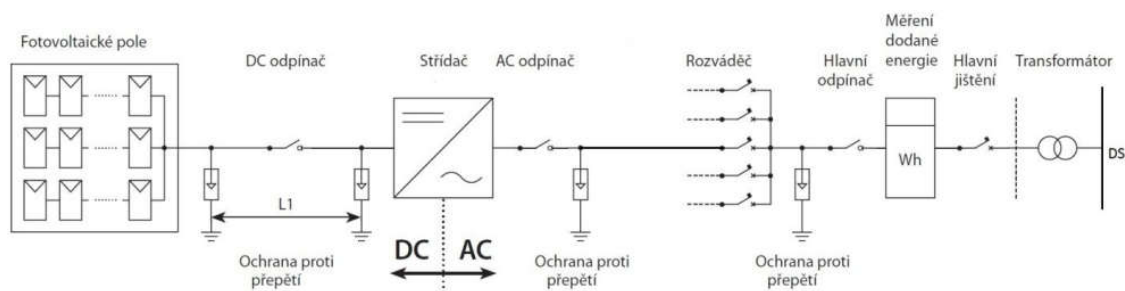
Obr. 9: Schéma jištění fotovoltaického zdroje.

Zdroj: Příručka elektrotechnika - Jisticí přístroje II, s. 64.

➤ *Jištění střídavých rozvodů*

Z pohledu normy ČSN 33 2000-7-712 Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech – Solární fotovoltaické napájecí systémy, je řešena ochrana vedení spojujícího fotovoltaický zdroj s distribuční soustavou proti nadproudům. Norma řeší střídavou stranu fotovoltaického systému a nutnost automatického odpojení od sítě v případě poruchy (Faltus, 2012).

Norma udává, že distribuční soustava je zdroj a fotovoltaický systém je zátěž. Distribuční soustava je tvrdý zdroj, proto je nutné z její strany proti nadproudům chránit propojovací vedení a el. zařízení pro měření nebo spínání. Před nadproudy lze chránit jisticím přístrojem před elektroměrem v místě připojení k distribuční soustavě nebo AC odpínačem na AC straně měniče. Tyto ochranné prvky chrání proti zkratu a zajišťují automatické odpojení od distribuční soustavy v případě poruchy.



Obr. 10: Schéma propojení fotovoltaického zdroje a distribuční soustavy

Zdroj: <http://www.oez.cz/file/649>

1.1.8 Ochrana před bleskem a přepětím

Obvykle platí, že fotovoltaický systém nezvyšuje riziko zasažení objektu bleskem. Při instalaci fotovoltaické elektrárny na střechy objektů je nutné posouzení střešního pláště, konstrukce FV systému a systému ochrany před bleskem, jestli vyhovují technickým podmínkám vyhlášky č. 23/2008 Sb.

➤ Vnější ochrana

Vnější ochranu na šikmých střechách zajišťují bleskosvody instalované na hřebeni střechy, které jsou pomocí svodů uzemněny. Vodivá konstrukce fotovoltaického systému je s těmito svody propojena. U plochých střech je zapojení obdobné a jímací tyče jsou rozmístěny po ploše střechy. Nezbytné je dodržení ochranných úhlů jímacích tyčí. V případě instalace bez hromosvodu je nutné uzemnění měniče, případně regulátoru dobíjení akumulátorů (Filip, 2013)

➤ Vnitřní ochrana

Vnitřní ochrana spočívá v zamezení škod způsobených přepětím vzniklým ve fotovoltaickém systému nebo přepětím z distribuční sítě. Přepětí vzniká úderem blesku přímo do fázového vodiče nebo indukci do vodivé smyčky. Ochrana proti přepětí se provádí pomocí bleskojistek nebo varistorů jako svodičů přepětí. Kombinací prvků proti přepětí vzniká tzv. kombinovaná ochrana.

1.1.9 Akumulátory pro ostrovní provoz

Nezbytnou součástí pro ostrovní provoz fotovoltaické elektrárny je regulátor nabíjení akumulátorů. Regulátor se stará o správné nabíjení a vybíjení akumulátorů. Kapacita

akumulátorů je volena tak, aby pokryla spotřebu elektrické energie na dobu 4 – 6 dní. Nejpoužívanějším typem jsou u fotovoltaických elektráren olověné akumulátory, ty se vyrábějí v několika provedeních (Hnilica, nedatováno).

- Startovací akumulátor (autobaterie)
- Trakční akumulátor se zaplavenými elektrodami
- Akumulátor bezúdržbový

➤ ***Startovací akumulátor***

Konstrukce startovacího akumulátoru je uzpůsobena pro dodání velkého proudu po krátkou dobu a dobře odolává velkým nabíjecím proudům. Vnitřní konstrukce akumulátorů se skládá z olověných desek zalitých kyselinou sírovou. Nevýhodou startovacích akumulátorů je unikání vodíku při dobíjení, proto by akumulátory měly být umístěny na dobře větraném místě. Z důvodu velkého samovybíjení nejsou startovací akumulátory moc využívány pro fotovoltaické elektrárny (Hnilica, nedatováno).

➤ ***Trakční akumulátor se zaplavenými elektrodami***

Trakční akumulátor obsahuje méně olověných desek než startovací akumulátor, proto nedokáže dodávat tak velké proudy a méně trpí samovybíjením. Akumulátor také není hermeticky uzavřený a při dobíjení se odpařuje vodík. Při jeho převržení může dojít k vylití kyseliny sírové, proto by akumulátory měly být umístěny ve zvláštních prostorech s odvětráváním. Trakční akumulátory jsou nejběžnějším typem používaným pro záložní zdroje a fotovoltaické elektrárny (Hnilica, nedatováno).

➤ ***Bezúdržbový akumulátor***

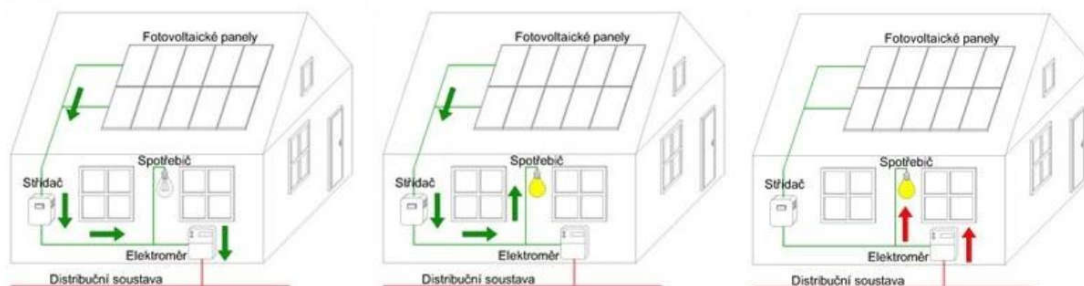
U bezúdržbových akumulátorů je elektrolyt tvořen buď gelem nebo je nasáknut do skelné hmoty. Výhodou těchto akumulátorů je na rozdíl od těch s kapalným elektrolytem to, že při jejich nabíjení neuniká vodík, a proto nejsou kladeny takové nároky na jejich skladování, mohou být umístěny i v obytných částech. Do této kategorie také spadají lithium – iontové akumulátory (Hnilica, nedatováno).

1.2 Provoz fotovoltaického systému

Fotovoltaická elektrárna na střeše nebo v blízkosti rodinného domu lze provozovat ve třech režimech. Prvním a nejčastějším způsobem je provoz spolupracující s distribuční soustavou, dále je to provoz fotovoltaické elektrárny v ostrovním systému a konečně hybridní systém.

1.2.1 FVE spolupracující s distribuční soustavou

Fotovoltaická elektrárna je od střídače připojena do podružného rozvaděče v domě nebo přímo do hlavního rozvaděče, tento přívod je osazen elektroměrem výroby. Elektrická energie vyrobená fotovoltaickou elektrárnou je primárně spotřebovávána v domě, kde je systém instalován. V případě nižší spotřeby elektrické energie v objektu než je aktuální množství vyráběné elektrické energie, např. v poledne při plném osvitě panelů, je energie dodávána do distribuční sítě. V případě nižší výroby elektrické energie fotovoltaickým systémem než je aktuální spotřeba, např. večer, je elektrická energie odebírána z distribuční sítě. V tomto režimu pracují fotovoltaické elektrárny čerpající „Zelený bonus“, které přebytečnou elektrickou energii prodávají do distribuční sítě. Takové fotovoltaické elektrárny jsou vybaveny v hlavním rozvaděči čtyřkvadrantovým elektroměrem.



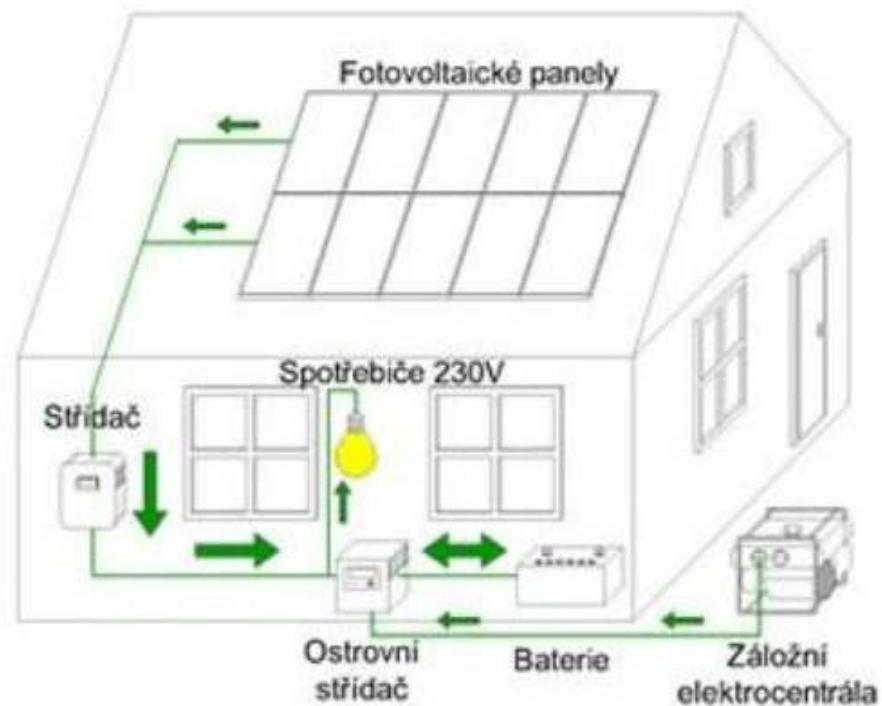
Obr. 11: Možné stavy provozu grid - on FVE.

Zdroj: <http://www.solarnielektrarny.cz/energetika/fotovoltaicke-elektrarny>

1.2.2 Ostrovní systém

Ostrovní systém také můžeme nazývat „Grid – Off“, tedy bez připojení na veřejnou distribuční síť. Tento systém provozu využívá akumulaci elektrické energie nebo okamžitou spotřebu. Ostrovní systémy mohou pracovat bez střídače, tento způsob provozu však vyžaduje stejnosměrných spotřebičů. Nejvíce využívaná varianta

ostrovního provozu je se střídačem a usměrňovačem pro akumulaci elektrické energie do baterií. Při výrobě elektrické energie fotovoltaickým systémem je elektrická energie spotřebovávána spotřebiči a ukládána do baterií. Při nedostatku vyráběné el. energie se používá elektřina z baterií. Akumulátorů lze využít více druhů, nejvhodnějším je z hlediska bezpečnosti bezúdržbový akumulátor na bázi gelu, nevýhodou je však vyšší pořizovací cena. Jako záložní zdroj při delším období při nedostatku slunečního svitu se používá elektrocentrála.

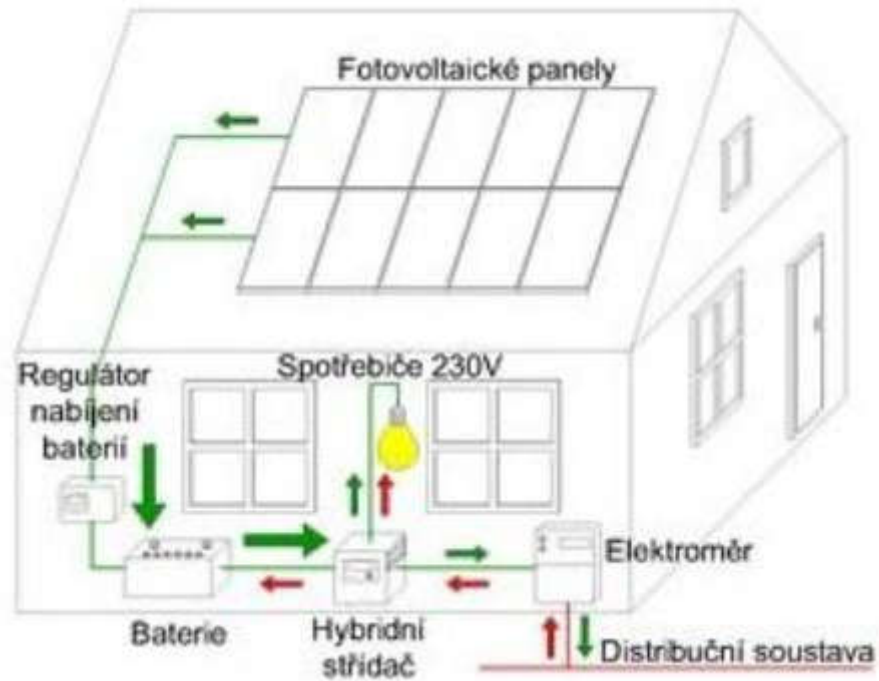


Obr. 12: Schéma provozu v ostrovním módu.

Zdroj: <http://www.solarnielektrarny.cz/energetika/fotovoltaiicke-elektrarny>

1.2.3 Hybridní systém

Hybridní systém kombinuje oba předchozí způsoby provozu fotovoltaické elektrárny. Může pracovat jak ve spolupráci s distribuční soustavou, tak může například v případě výpadku elektrické energie pracovat v ostrovním režimu. Pro uložení elektrické energie používá baterie různých typů o velké kapacitě. Hybridní systém lze tedy nazvat také jako záložní.



Obr. 13: Schéma hybridního provozu FVE.

Zdroj: <http://www.solarnielektrarny.cz/energetika/fotovoltaicke-elektrarny>

1.3 Bezpečnost a prevence

Prevenici před vznikem požáru a bezpečný provoz fotovoltaických elektráren umístěných na rodinných a bytových domech právní předpisy zmiňují jako běžné technické zařízení. Požární ochranu řeší zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně ve znění pozdějších předpisů, vyhláška č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb, ve znění pozdějších předpisů, vyhláška č. 246/2001 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci), ve znění pozdějších předpisů a nařízení vlády č. 118/2016 Sb., o posuzování shody elektrických zařízení určených pro používání v určitých mezích napětí při jejich dodávání na trh. Technické podmínky provedení fotovoltaických elektráren určují normy ČSN.

Tabulka 1: Přehled norem

Norma	Název normy
ČSN 33 2000-7-712	Část 7-712: Zařízení jed noučelová a ve zvlášt ních objektech – Solární fotovoltaické (PV) napájecí systémy,
ČSN EN 61215	Fotovoltaické (PV) moduly z krystalického křemíku pro pozemní použití – Posouzení způsobilosti konstrukce a schválení typu
ČSN IEC 755	Všeobecné požadavky pro proudové chrániče
ČSN EN 60439 – 1 ed. 2 + Z1	Rozvaděče nn – Část 1: Typově zkoušené a částečně typově zkoušené rozvaděče
ČSN 33 2000-4-41 ed. 2	Elektrické instalace nízkého napětí – Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti – Ochrana před úrazem elektrickým proudem
ČSN 73 0804	Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty

Zdroj: Časopis Elektro 4/2011

1.3.1 Ochrana před úrazem elektrickým proudem

Norma ČSN 33 2000-4-41 ed. 2 se zabývá ochranou před úrazem elektrickým proudem, ale stanovuje i hodnoty bezpečného dotykového napětí a popisuje účinky na lidské tělo při průchodu elektrického proudu (Český normalizační institut, 2007).

Tabulka 2: Bezpečná jmenovitá napětí s ohledem na členění prostoru a způsob dotyku

Prostory	Dochází – li při obsluze k dotyku zařízení	Nejvyšší bezpečná malá napětí živých částí [V]	
		Střídavá	Stejnoseměrná
Normální i nebezpečné	- živých	25	60
	- krytů	50	120
Zvlášť nebezpečné	- živých	-	-
	- krytů	12	25

Zdroj: ČSN 33 2000-4-41 ed. 2

Tabulka 3: Konvenční mezní hodnoty proudů z hlediska jejich účinků na lidský organismus

Účinky	Mezní hodnoty proudu [mA]	
	AC	DC
Mez vnímání – proud je vnímán od	0,5	2
Mez uvolnění – proud zabraňuje uvolnění od	5	25
Závažnější negativní účinky zdraví od	30	120

Zdroj: ČSN 33 2000-4-41 ed. 2

1.3.2 Zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně

Zákon č. 133/1985 Sb. je základním právním dokumentem v oblasti požární ochrany. Právnícké a podnikající fyzické osoby jsou povinny vytvářet podmínky pro zamezení vzniku požáru, v případě vzniku požáru vytvářet podmínky pro hašení a záchranné práce. V případě, že právnícké a podnikající fyzické osoby provozují činnost se zvýšeným nebo vysokým požárním nebezpečím, předkládají státnímu požárnímu dozoru ke schválení dokumentaci zdolávání požárů (zákon č. 133/1985 Sb.).

Fyzické osoby jsou povinny předcházet vzniku požáru, zajistit přístup k elektrickým rozvodným zařízením, dodržovat příkazy a zákazy týkající se požární ochrany atd. Fyzická osoba nesmí provádět práce, které by mohly vést ke vzniku požáru, pokud nemá zvláštní právními předpisy požadovanou odbornou způsobilost. Fyzická osoba je povinna umožnit výkon státního požárního dozoru podle § 35 zákona č. 133/1985 Sb. (zákon č. 133/1985 Sb.).

1.3.3 Vyhláška č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb

Vyhláška stanovuje technické podmínky požární ochrany pro navrhování, provádění a užívání stavby. V oblasti fotovoltaiky vyhláška č. 23/2008 Sb. určuje polohu měniče napětí s odpojovačem, a to tak, aby stejnosměrné vedení od FV panelů k odpojovači nebo střídači, které zůstává pod stálým napětím, bylo co nejkratší. Instalované fotovoltaické panely nesmí bránit v odvětrání objektu či prostoru, omezit provoz, opravy a údržbu spalinových cest, nebo bránit přístupu jednotek požární ochrany při zásahu. Provedení střešního pláště určuje norma ČSN EN 13 501-5 +A1 (vyhláška č. 23/2008 Sb.).

1.3.4 Vyhláška č. 246/2001 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci)

Vyhláška č. 246/2001 Sb. se vztahuje především na povinnosti právnických osob a podnikajících fyzických osob. Povinností právnických a podnikajících fyzických osob je zajištění vhodných podmínek pro hašení požárů a pro záchranné práce. Pro provedení rychlého a účinného zásahu, evakuace osob, zvířat a materiálu je zapotřebí organizačních, a popřípadě i technických opatření (vyhláška č. 246/2001 Sb.).

Dokumentace zdolávání požárů upravuje zásady rychlého a účinného zdolávání požárů a záchrany osob, majetku, zvířat v objektech právnický a podnikajících fyzických osob. Dokumentaci zdolávání požárů tvoří operativní plán a operativní karta. DZP se zpracovává pro objekty a prostory, kde jsou složité podmínky pro zásah (§ 18 vyhlášky č. 246/2001 Sb.), v provozech s vysokým požárním nebezpečím a v určitých případech v provozech se zvýšeným požárním nebezpečím. Operativní plán obsahuje operativně taktickou studii, stanovení nejsložitější varianty požáru a výpočty pro určení sil a prostředků jednotek požární ochrany, popřípadě požadavky na speciální hasební látky a postupy. Dále operativní plán obsahuje vyjímatelnou textovou část s operativně taktickými údaji o objektu a grafickou část s plánem objektu. Operativní karta je zjednodušený operativní plán a zpracovává se v případě, pokud se složité podmínky pro zásah vyskytují v jednom stavebním objektu. Obsahem můžou být např. konstrukční zvláštnosti nebo způsob vypnutí elektrického proudu. Vyjímatelná příloha operativního plánu nebo operativní karta je uložena u JPO předurčené požárním poplachovým plánem (vyhláška č. 246/2001 Sb.).

Bezpečnost provozu technických a technologických zařízení se prokazuje doklady o jejich kontrolách, údržbě a opravách. Opravy by měly být provedeny dle požadavků právních předpisů, norem a podle dokumentace výrobce. Doklady o bezpečnosti jsou např. zpráva o revizi nebo kontrole provedené oprávněnou osobou, záznamy o provedené údržbě nebo opravě (vyhláška č. 246/2001 Sb.).

1.3.5 Nařízení vlády č. 118/2016 Sb., o posuzování shody elektrických zařízení určených pro používání v určitých mezích napětí při jejich dodávání na trh

Nařízení upravuje technické požadavky na elektrická zařízení používána při jmenovitém napětí 50 – 1000 V střídavých a 75 – 1500 V stejnosměrných. Základním technickým

požadavkem na elektrické zařízení je jeho bezpečný provoz, splnění základních technických požadavků se prokazuje posuzováním shody (Nařízení vlády č. 118/2016 Sb.).

1.4 Analýza rizik

Fotovoltaické elektrárny instalované na střechách rodinných domů představují pro zasahující členy jednotek požární ochrany zvýšené riziko úrazu při zásahu. Dalším zdrojem nebezpečí jsou další případné technologické prvky související s fotovoltaickým systémem, např. baterie u grid – off nebo hybridních systémů. Tyto rizika se oproti běžným požárům rodinných domů mohou kumulovat a z důvodu rozdílného provedení fotovoltaických elektráren nemusí být všechna rizika zjevná. Míra rizika závisí na fázi požáru, a zda požár přímo zasáhl fotovoltaický systém.

1.4.1 Nebezpečí úrazu elektrickým proudem

Fotovoltaický systém v případě dopadajícího světla na FV panely generuje stejnosměrné napětí a tento proces se kromě zamezení dopadu fotonů nedá nijak zastavit. V případě zatažené oblohy FV panely generují stejné napětí, liší se velikostí proudu, který je menší oproti plnému osvětlení. Hlavním nebezpečím je tedy vedení stejnosměrného proudu od panelů ke střídači, které je přes den stále pod napětím. Samotný panel generuje napětí do 40 V, ale zapojením do větví (tzv. stringů) dochází k navyšování napětí a to až do hodnot 1000 V, běžně se používá napětí jednoho stringu 300 – 400 V. Hodnoty proudu tekoucího v jednotlivých větvích se pohybují okolo 6 – 9 A. Při požáru, který zasáhne střechu s FV panely je nebezpečí úrazu elektrickým proudem jak při samotném hašení vodivými hasivky, tak při rozebírání střešní konstrukce a dohašování skrytých ohnisek např. v dutých prostorech střechy. V těchto prostorech a na střeše se mohou nacházet kabely vedoucí stejnosměrný proud ke střídači. Kabely mohou být poškozeny mechanicky nebo působením ohně (spečená izolace, přehořelé kabely). Instalace stejnosměrného napětí mohou být vedeny až do přízemí, kde je instalován střídač. Rizikem je tedy nedostatek informací týkajících se trasy stejnosměrného vedení (Kopačka, 2012).

Účinky elektrického proudu na lidské tělo záleží na mnoha faktorech. Jedná se o druh napětí, velikost proudu procházejícího tělem, dobu působení, kmitočet, cestu průchodu proudu lidským tělem a zdravotní stav zasaženého. Střídavý elektrický proud je

nebezpečný kmitočtem, který je v Evropě 50 Hz, tento kmitočet je podobný frekvenci srdce a způsobuje jeho fibrilaci, čímž dojde k zástavě krevního oběhu. Hodnota nebezpečného střídavého proudu procházejícího tělem je více jak 30 mA. Střídavý proud také způsobuje svalové křeče, které znemožňují pustit se vodiče. Stejnoseměrný proud způsobuje elektrolýzu krve, během působení stejnosměrného proudu se rozkládá hemoglobin, tedy dochází k usmrcení buněk. Při působení stejnosměrného proudu je smrtelná hodnota 0,5 A. Dalším nebezpečím týkající se elektrického proudu je popálení elektrickým obloukem (Kopačka, 2012)

V instalacích zahrnujících stejnosměrný proud jsou mezní hodnoty proudu způsobujícího negativní fyziologické účinky vyšší než u proudu střídavého. V případě popálenin je hodnota proudu stejná, protože tepelné účinky nejsou závislé na frekvenci proudu. Hodnota stejnosměrného proudu protékajícího lidským tělem je nepřímo úměrná odporu těla. Elektrický odpor lidského těla (pro DC proud) je uveden v normě IEC 60479-1. Norma uvádí předpokládaný elektrický odpor pro 5 %, 50 % a 95 % procent populace, odpor je uveden pro cestu proudu ruka – ruka s velkou a suchou dotykovou plochou. Hodnoty odporu uvedené v normě IEC 60479-1 jsou odvozeny od skutečných měření, nebyly však provedeny žádné měření v mokřích a vlhkých podmínkách. Pro tyto podmínky norma pouze odhaduje elektrický odpor těla stejný jako je impedance těla v případě průchodu střídavého proudu. Z níže uvedených tabulek je zřejmý klesající odpor lidského těla s rostoucím dotykovým napětím, dle Ohmova zákona tedy dochází k nárůstu proudu procházejícího lidským tělem (Backstrom a Dini, 2011).

Tabulka 4: Odpor lidského těla při průtoku DC proudu

Dotykové napětí [V]	Hodnoty celkového odporu těla [Ω]		
	5 % populace	50 % populace	95 % populace
25	2 100	3 875	7 275
50	1 600	2 900	5 325
75	1 275	2 275	4 100
100	1 100	1 900	3 350
125	975	1 675	2 875
200	800	1 275	2 050
225	775	1 225	1 900
400	700	950	1 275
500	625	850	1 150
700	575	775	1 050
1000	575	775	1 050

Zdroj: ČSN IEC 60479-1

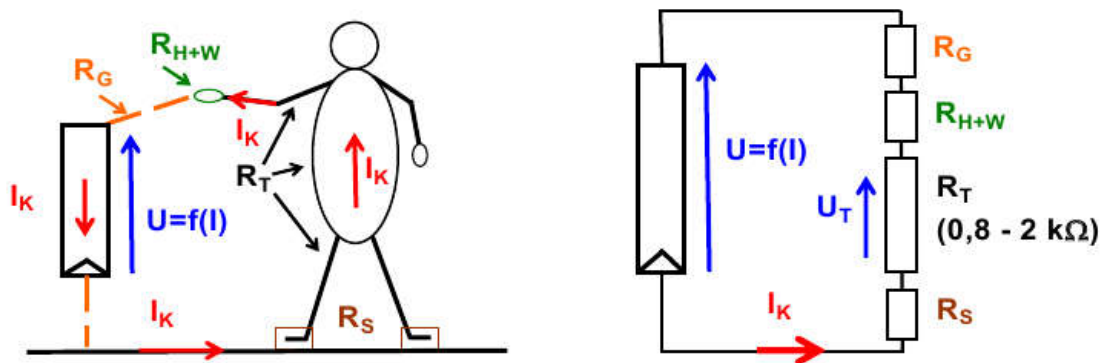
Norma ČSN 33 2000-4-41 ed. 2 stanovuje meze dovoleného dotykového napětí. Tyto hodnoty byly stanoveny na základě Ohmova zákona a impedance (odporu) lidského těla uvedené v normě IEC 60479-1. Při dotyku živé části s bezpečným napětím nedojde k průchodu proudu, který by měl patofyziologické účinky.

Tabulka 5: Bezpečné napětí

Hodnoty bezpečného napětí proti zemi (V)				
Prostory	střídavé		stejnoseměrné	
	působící			
	krátce	trvale	krátce	trvale
normální i nebezpečné	50	25	120	60
zvlášť nebezpečné	12	-	25	-

Zdroj: ČSN 33 2000-4-41 ed. 2

Podle bojového řádu, metodického listu 14/N Nebezpečí úrazu elektrickým proudem se prostory, ve kterých probíhá hasební zásah, považují za zvlášť nebezpečné. Z normy ČSN 33 2000-4-41 tedy vyplývá, že při zásazích u požárů fotovoltaických systémů je maximální dotykové stejnosměrné napětí krátkodobě max. 25 V. Napětí 25 voltů generuje jeden fotovoltaický panel menšího výkonu, FV panely běžně používané dosahují jmenovitého napětí 30 V a vyšší. Při porušení kabelu se nebezpečnou živou částí stává kterákoliv vodivá věc spojená s FV panelem (MV – GŘ HZS ČR, 2017a, Český normalizační institut, 2007).



$$I_K = \frac{U}{R_G + R_{H+W} + R_T + R_S}$$

Obr. 14: Výpočet proudu lidským tělem.

Zdroj: SOŠ a VOŠ PO Frýdek – Místek

V případě povodní a zaplavení části technologie související s fotovoltaickým systémem nastává nebezpečí úrazu elektrickým proudem nejen pro členy jednotek požární ochrany, ale také pro obyvatele rodinného domu s instalovanou FV elektrárnou nebo i pro ostatní osoby pohybující se v okolí. Za okolí se v případě nevypnutého střídače dá považovat i poměrně velká vzdálenost. Střídavý proud může FV systém dodávat např. do zaplaveného elektrického rozvaděče na ulici a i přes vypnutí přívodu elektrického proudu distributorem a zdání beznapěťového stavu se stále může v některých místech vyskytovat nebezpečné napětí. Toto napětí se po kabelech může šířit poměrně daleko. V případě zaplavení stejnosměrné části fotovoltaického systému, se do vody vždy dostává také nebezpečné napětí, protože norma ČSN EN 61140 ed. 3 stanovuje zatopené prostory jako zvlášť nebezpečné (Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016).

1.4.2 Nebezpečí zřícení konstrukcí

Střešní konstrukce s instalovanými fotovoltaickými panely se při požáru může stát nebezpečnou porušením statické a dynamické únosnosti střešní konstrukce. Mechanická pevnost materiálu stavby a technologických zařízení může být narušena působením tepla nebo jinou mimořádnou událostí, např. výbuchem. Se zřícením konstrukcí souvisejí hrozby, jako je zavalení, zasypání, přerušení únikových cest nebo změna uspořádání technologických zařízení (možná změna výskytu elektrického potenciálu). S instalací FV panelů na střechy souvisí také větší zatížení konstrukce střechy, se

kterým většinou není počítáno, plošné zatížení střechy je větší cca o 15 kg/m². Dalším nebezpečím je pád nebo sklouznutí FV panelů z šikmých střech. V budoucnosti je potřeba počítat také s implementací fotovoltaických článků např. do samotných tašek tvořících střešní krytinu (Kopačka, 2012).

1.4.3 Nebezpečí pádu

Největší nebezpečí pádu je na šikmých střechách při rozebírání střešní krytiny a dohašování ohnisek. Na střeše hrozí uklouznutí, zakopnutí o konstrukci nebo kabeláž, ztráta rovnováhy, nebo i pád způsobený šokem ze zásahu elektrickým proudem. Dále hrozí zranění způsobené ostrými hranami na konstrukci FV panelů. Na plochých střechách je nebezpečí zakopnutí o součásti FV systému.

1.4.4 Nebezpečí intoxikace, poleptání, výbuchu a rizika spojená s akumulátory

Při provozu fotovoltaické elektrárny v grid – off režimu nebo v hybridním režimu jsou pro provoz podstatné akumulátory. Pro fotovoltaické systémy je možné použít více typů akumulátorů a jednotky požární ochrany se tedy mohou setkat s velkým množstvím látek, např. H₂SO₄, CdO, PbSO₄, Ni₂O₃ a další. Tyto látky mají leptavé páry a při požáru uvolňují jedovaté látky, produkce jedovatých látek závisí na náplni akumulátorů. Hrozbou je také rozdílné umístění akumulátorů, v případě umístění ve špatně větrané místnosti hrozí výbuch (Kopačka, 2012).

Akumulátory k uchování elektrické energie využívají přeměnu iontů a ta probíhá pomocí vhodného elektrolytu v akumulátorech. Akumulátory používají rozdílné elektrolyty, jde např. o H₂SO₄, KOH, NaOH. Tyto elektrolyty jsou žíravé a mohou při úniku z obalu akumulátoru způsobit poleptání zasahujících hasičů. Druhotným problémem např. při úniku kyseliny sírové je koroze kovů, při které vzniká vodík, který je výbušný. V dnešní době se k uchování elektrické energie používají hlavně akumulátory na bázi lithia. U Li – ion akumulátoru je pro jeho chování při poškození nebo přehřátí rozhodující katodový aktivní materiál a chemické změny v průběhu vybíjení a nabíjení. Pro příklad v akumulátoru LiCoO₂ se v průběhu nabíjení odčerpává lithium z katody a na katodě je velký kyslíkový potenciál, který obzvláště v případě přebíjení může vybuchnout (Kopačka, 2012, Bergische Universität Wuppertal et al., 2014).

Akumulátorové články fotovoltaických systémů jsou většinou chráněny proti přehřátí a přebíjení (inteligentní nabíjení), proti mechanickým vlivům jsou chráněny skříněmi. V případě zasažení akumulátorů požárem Li – iontové články zhoršují podmínky na místě zásahu. Při zahřívání článků dochází k otevření jejich zapouzdření a odpařování jejich obsahu. Páry z článku vytváří bílošedý kouř, který obsahuje elektrolyt a komponenty článku, odpar těchto látek probíhá již při 130 °C. U Li – iontových článků je elektrolyt velmi citlivý na vlhkost, při kontaktu s již vzdušnou vlhkostí vzniká chemickou reakcí kyselina fluorovodíková a kyselina fosforečná. Vyvíjený šedobílý kouř je tedy žravý a toxický, v případě zasažení nekryté pokožky může dojít k poleptání. Akumulátory v FV systémech jsou dimenzovány pro velké množství energie, v řádech kWh. I v případě částečného poškození článků nebo odpojení jsou akumulátory schopné dodávat el. energii potřebnou k elektrolýze hasební vody, která se rozkládá na výbušnou směs vodíku a kyslíku (Bergische Universität Wuppertal et al., 2014).

1.4.5 Nebezpečí vytažení elektrického oblouku a popálení

Elektrický oblouk je proud plazmy vyzařující světlo a je doprovázen typickými zvuky připomínající praskání. Elektrický oblouk dosahuje teploty až několik tisíc stupňů Celsia. Elektrický oblouk střídavého proudu má samozhášivé vlastnosti, které jsou způsobeny průchodem napětí a proudu nulou, zatímco stejnosměrný elektrický oblouk je poměrně stabilní a jeho zhášení je problematictější. Elektrický oblouk vzniká rozpojením kontaktů nebo přerušením elektrického vedení, kterým protéká proud a má tendenci se tzv. „vytahovat do prostoru“. Podmínky pro vznik elektrického oblouku závisí hlavně na materiálu kontaktů a okolním prostředí, ve kterém probíhá ionizace. Pro zažehnutí oblouku na kontaktech z mědi ve vzduchové atmosféře postačí napětí 13 V a proud 0,4 A, toto bylo ověřeno zkušebním ústavem TÜV Rheinland. Během hoření oblouk vydává velmi jasné světlo ve viditelném i ultrafialovém spektru, které může způsobit poškození očí. Elektrický oblouk se také může šířit po kabelech vlivem degradace izolace kabelů způsobené samotným hořením elektrického oblouku. DC oblouk je velice stabilní a doba jeho hoření může být i v řádu minut. Uhasnutí takového oblouku je možné oddálením kontaktů, tzn. zvýšením napětí potřebným pro vznik elektrického oblouku. Fotovoltaické panely jsou skoro ideálním zdrojem pro hoření a vznik elektrického oblouku, je to způsobeno volt – ampérovou charakteristikou panelu, nevýhodou je malý rozdíl jmenovitého a zkratového proudu. Pravděpodobnost vzniku

většího elektrického oblouku není zanedbatelná. Nebezpečím souvisejícím s DC obloukem je popálení a poškození zraku hasičů, a iniciace dalších ohnisek na požářišti (Prume a Viehweg, 2015).

1.4.6 Nebezpečí zpětného střídavého proudu

Nejednotnost provedení fotovoltaických systémů může kromě zpětného stejnosměrného proudu v rozvaděčích zapříčinit i výskyt střídavého napětí o hodnotě až 400 V v elektroinstalaci objektu, a to v případě provozování hybridního a grid – off systému. Problém zpětného střídavého proudu u systémů bez akumulace řeší nutnost synchronizace střídače s distribuční sítí, tzn. v případě vypnutí přívodu elektrické energie z distribuční sítě dojde k automatickému vypnutí střídače a přerušení dodávky elektrického proudu do elektroinstalace objektu. Při odpojení přívodu elektrické energie z distribuční sítě hybridní systém toto vyhodnotí jako výpadek dodávky a začne dodávat elektrickou energii do elektroinstalace jako záložní zdroj. Dodávání elektrického proudu může být do zvláštního okruhu, do části elektroinstalace nebo do celého objektu, případně do přilehlé samostatně stojící např. hospodářské budovy. V případě opomenutí takové skutečnosti dochází ke stejnému ohrožení zasahujících hasičů jako v případě nevypnutí hlavního přívodu elektrické energie při požáru, což je jeden ze základních úkonů při požárech. V případě grid – off systému je situace obdobná, lze však u takového objektu podobné zapojení elektroinstalace předpokládat a upozornit hasiče na možná rizika.

1.4.7 Špatná informovanost velitele zásahu

Všechna uvedená rizika se násobí v případě jejich opomenutí nebo nevědomosti o hrozících rizicích na místě zásahu. Informovanost velitele o hrozících rizicích na místě požáru je tedy velice důležitá. Současné právní předpisy a normy nepředepisují povinnost informovat Hasičský záchranný sbor o instalaci fotovoltaického systému do 10 kWp. Velitel jednotky požární ochrany, která na místo události dorazí jako první, se stává velitelem zásahu a o přítomnosti FV elektrárny nemá žádné informace, pokud určité informace nesdělí oznamovatel události operačnímu a informačnímu středisku HZS kraje. V případě poskytnutí informací oznamovatelem budou tyto informace omezené maximálně na přítomnost FV systému apod. Dle normy ČSN 73 0848 by měly výroby s instalovanými napájecími fotovoltaickými systémy mít umístěny u vstupu do objektu schémata zapojení s označením místa odpojení DC kabelů a popisem způsobu

odpojení. Nevýhodou umístění dokumentace u vstupu do objektu je možná nedostupnost způsobená požárem, zničení dokumentace samotným požárem nebo chybějící dokumentace. Bez informací o způsobu provedení FV elektrárny nelze určit bezpečné zásahové cesty, kromě zásahu z výškové techniky. Přítomnost majitele nebo správce objektu může být přínosná, ale ne vždy jsou tyto osoby dostatečně informovány.

1.5 Bojový řád

Bojový řád jednotek požární ochrany je základním dokumentem a pomůckou při zdolávání mimořádných událostí jednotkami požární ochrany. Bojový řád obsahuje jednotlivé metodické listy zaměřené na určitou činnost. V metodickém listu je uvedena charakteristika jevu nebo události, činnost a postup hasičů při likvidaci mimořádné události, očekávané zvláštnosti a hrozící nebezpečí.

Při zásazích na požáry fotovoltaických elektráren na střešních konstrukcích se uplatňují hlavně tyto metodické listy: 3/N Nebezpečí intoxikace, 6/N Nebezpečí pádu, 14/N Nebezpečí úrazu elektrickým proudem, 18/N Nebezpečí zřícení konstrukcí, 1/P Zdolávání požáru, 13/P Hašení požáru v podkroví a půdním prostoru, 15/P Požáry střešních konstrukcí, 25/P Hašení vodou elektrických zařízení a vedení pod napětím do 400 V, 47/P Požáry střešních konstrukcí s fotovoltaickým systémem, 49/P Požáry střešních konstrukcí s trubicovým fotovoltaickým systémem.

1.5.1 Metodický list 3/N Nebezpečí intoxikace

Toxické látky vznikající při požárech jsou pro člověka nebezpečné, vniknutí toxických látek do organismu se nazývá intoxikace a může nastat i otrava. Vniknutí toxických látek do organismu a způsob působení na organismus je různá. Při požárech je nejčastější intoxikace způsobená vdechnutím kouře. Toxické látky obsažené v kouři vznikají nedokonalým hořením a tepelným rozkladem látek. Toxická látka vznikající při požáru lze odvodit z chemického složení hořících látek, např. při hoření PVC vzniká kyselina chlorovodíková. Příznaky intoxikace jsou např. bolesti hlavy, nevolnost, zvracením, dráždivý kašel, ztráta vědomí apod. Ochrana před intoxikací při požárech se provádí užitím nepoškozených ochranných prostředků hasičů a používáním izolačních dýchacích přístrojů (MV – GŘ HZS ČR, 2017b).

1.5.2 Metodický list 6/N Nebezpečí pádu

Nebezpečí pádu nastává při práci ve výšce, na konstrukcích nebo v terénu, kde hrozí pád z výšky, pád do hloubky, propadnutí nebo sesutí. Za nebezpečnou je považována výška nebo hloubka 3 metry a více. Za prostory s nebezpečím se nepovažuje prostor zajištěný systémem ochrany, např. zábradlí nebo nástavba požární techniky. Příčinou pádu může být ztráta rovnováhy, nedostatečné zajištění, ztráta nervosvalové koordinace z důvodu zásahu hasiče elektrickým proudem, stržení padajícími předměty, povětrnostní vlivy, ztráta orientace, propadnutí nebo sesutí, zřícení konstrukcí. Pravděpodobnost pádu zvyšují faktory jako je nedostatečné osvětlení zásahového prostoru, velký pohyb osob v nebezpečném prostoru nebo nedostatek informací (MV – GŘ HZS ČR, 2017c).

Dodržováním cvičebního řádu, zásad taktického vedení zásahu a odbornou přípravou hasičů lze riziko pádu snížit, nikoliv však vyloučit. Na místě zásahu je zapotřebí průzkumem zjistit zda hrozí nebezpečí pádu a určit způsob jištění zasahujících hasičů a zachraňovaných osob s ohledem na schopnosti jednotky. Při zásahu zajistit osvětlení, odvětrání a označení a ohraničení nebezpečných prostorů, během záchranných a likvidačních prací sledovat únosnost a průvodní znaky zřícení konstrukcí. Při používání věcných prostředků pro práci ve výškách dbát na jejich správné použití a stav.

1.5.3 Metodický list 14/N Nebezpečí úrazu elektrickým proudem

Úraz elektrickým proudem nastane v případě průchodu elektrického proudu tělem, tento zásah může mít za následek zástavu srdce a přerušování krevního oběhu, popálení elektrickým obloukem nebo k ochrnutí částí těla. Při dotyku dvou bodů s rozdílným potenciálem dojde k uzavření elektrického obvodu, který při dotyku neizolovanými částmi těla zpravidla vede přes tělo zasaženého. Elektrické sítě střídavého napětí jsou většinou účinně uzemněny, což znamená, že stačí dotyk jednoho bodu pod napětím a dojde k uzavření elektrického obvodu. Bodu pod napětím říkáme živá část. Následky způsobené zásahem elektrického proudu závisí na druhu elektrického proudu (střídavý, stejnosměrný), napětí, frekvenci, přechodovém odporu v místě dotyku, velikosti protékajícího proudu, cestě průchodu proudu a době zasažení. Působení elektrického proudu na člověka je individuální a závisí např. na místě zásahu lidského těla. Dielektrické vlastnosti prostoru ovlivňují účinky působení elektrického proudu na lidské tělo. Jsou stanoveny hodnoty bezpečného napětí pro prostory normální, nebezpečné a

zvlášť nebezpečné, místo požárního zásahu je hodnoceno jako zvlášť nebezpečný prostor (MV – GŘ HZS ČR, 2017a).

Tabulka 6: Hodnoty bezpečného napětí.

Hodnoty bezpečného napětí proti zemi (V)				
Prostory	střídavé		stejnoseměrné	
	působící			
	krátce	trvale	krátce	trvale
normální	50	25	120	60
nebezpečné	50	25	120	60
zvlášť nebezpečné	12	-	25	-

Zdroj: Metodický list č. 14/N

Výrobu, přeměnu, přenos, rozvod elektrické energie zajišťují elektrická zařízení, která nazýváme silová, silová zařízení využívají elektřinu jako formu energie. Silová elektrická zařízení se dělí do napěťových pásem dle jmenovitých napětí (MV – GŘ HZS ČR, 2017a).

Tabulka 7: Rozdělení napěťových hladin.

Označení napětí	Název zařízení	Jmenovité napětí		
		v uzemněné soustavě		Izolovaná soustava
		mezi vodičem a zemí	mezi vodiči	
mn	zařízení malého napětí	do 50 V včetně	do 50 V včetně	do 50 V včetně
nn	zařízení nízkého napětí	nad 50 V do 600 V včetně	nad 50 V do 1000 V včetně	nad 50 V do 1000 V včetně
vn	zařízení vysokého napětí	nad 0,6 kV a menší než 30 kV	nad 1 kV a menší než 52 kV	nad 1 kV a
vvn	zařízení velmi vysokého napětí	od 30 kV a menší než 171 kV	od 52 kV a menší než 300 kV	od 52 kV a menší než 300 kV
zvn	zařízení zvlášť vysokého napětí	-	od 300 kV do 800 kV včetně	-
uvn	zařízení ultra vysokého napětí	-	od 800 kV	-

Zdroj: Metodický list č. 14/N

Nebezpečné napětí se může objevit všude tam, kde se vyskytují elektrická zařízení a vedení elektrického proudu. Všechna elektrická zařízení se označují bezpečnostní

tabulkou nebo červeným bleskem. Vedení VN, VVN a ZVN jsou na sloupech označeny výstražnou tabulkou. Zdroji nebezpečného elektrického proudu mohou být: narušené elektrické rozvody, zdroje elektrické energie (záložní zdroje, fotovoltaický systém), krokové napětí, statická elektřina, zbytkový náboj, indukované napětí (MV – GŘ HZS ČR, 2017a).

Ochrana před úrazem elektrickým proudem při zásahu se provádí vypnutím elektrického proudu v elektrickém zařízení a zajištění proti nekontrolovatelnému zapnutí, omezením vstupu do prostoru ochranného pásma a bezpečnou vzdáleností hasičů od zařízení pod nebezpečným elektrickým napětím, použitím vhodného hasiva k hašení zařízení pod elektrickým napětím. V případě zásahu v blízkosti zařízení VN, VVN a ZVN zajistí velitel zásahu seznámení zasahujících s hrozícím nebezpečím (MV – GŘ HZS ČR, 2017a).

Vypnutí elektrického proudu nízkého napětí vypínačem může provést osoba bez odborné způsobilosti, která je seznámená s možným nebezpečím. Vypnutí elektrického proudu vysokého napětí a velmi vysokého napětí a zajištění beznapěťového stavu provádí odborný pracovník nejlépe provozovatele zařízení. V případě nebezpečí z prodlení může vypnutí provést i bez příkazu B. Hasič bez odpovídající elektrotechnické kvalifikace nesmí zahájit práci dříve, než mu bude předáno vypnuté a zajištěné pracoviště odborným pracovníkem (MV – GŘ HZS ČR, 2017a).

Pro vypnutí elektrického proudu se přednostně používá vypínače tzv. CENTRAL STOP, kterým se nevypne přívod elektrické energie pro požárně bezpečnostní zařízení. V případě nebezpečí se použije vypínač TOTAL STOP. U fotovoltaických systému může být v hlavním rozvaděči umístěn technický list znázorňující hlavní odpojovač FV systému a schéma rozvodu elektrické energie (MV – GŘ HZS ČR, 2017a).

1.5.4 Metodický list 18/N Nebezpečí zřícení konstrukcí

Zřícení konstrukcí vzniká porušením její únosnosti, snížením mechanické pevnosti vlivem změny teplot, zvýšeným dynamickým nebo statickým zatížením, porušením celistvosti. Stabilita konstrukce může být narušena působením živelných pohrom. Zřícení konstrukcí způsobuje další nebezpečí a komplikace pro zasahující jako je např. zranění a zasypání padající konstrukcí nebo technologickým zařízením, poškození a zatarasení únikových cest, nebezpečí propadnutí nebo zranění při chůzi po troskách

zřícených konstrukcí, úraz elektrickým proudem z poškozených rozvodů, únik plynů z poškozených rozvodů (MV – GŘ HZS ČR, 2017d).

Druh materiálu konstrukce určuje náchylnost ke zřícení, ocelové konstrukce jsou náchylné ke zřícení při požárech, dřevěné konstrukce pokud jsou namáhány na ohyb, předepjaté betonové dílce pokud jsou tepelně namáhané, konstrukce z rozdílných materiálů se stávají nestabilními vlivem působení teploty a tím nerovnoměrné roztažnosti. Správnou volbou směru a místa nasazení hasičů a požární techniky lze nebezpečí snížit. Na místě zásahu je potřeba sledovat okolí a změny stavu konstrukcí a příznaky zřícení (např. praskání) a nenasazovat jednotky do místa možného dopadu zřícených konstrukcí (MV – GŘ HZS ČR, 2017d).

1.5.5 Metodický list 1/P Zdolávání požáru

Úkolem jednotek požární ochrany při zdolávání požáru je lokalizace požáru, čímž je zabráněno dalšímu šíření požáru a likvidace požáru až do ukončení nežádoucího hoření. Zdolávání požáru se provádí použitím hasiv nebo odstraněním hořlavých látek, rozebíráním konstrukcí odvětráním místa požáru od zplodin hoření. Síly a prostředky se na místě zásahu nasazují formou bojového rozvinutí, při nasazování sil a prostředků dbá velitel na účelnost nasazení (MV – GŘ HZS ČR, 2017e).

Nasazení sil a prostředků pro zdolání požáru se provádí: v případě že, požár bezprostředně ohrožuje osoby nebo zvířata, provede se nasazení sil pro jejich záchranu nebo snížení hrozícího nebezpečí, je-li požárem zasažena část objektu a požár se dále šíří, provede se nasazení sil pro zamezení šíření požáru, v případě zasažení celého objektu, nasadí se síly v prostoru nejintenzivnějšího hoření, v případě ohrožení vedlejšího objektu, nasadí se síly také na ochranu vedlejšího objektu. V případě nedostatku sil a prostředků pro lokalizaci požáru zažádá velitel zásahu příslušné operační středisko o vyslání posil, do té doby organizuje požární obranu. Pro omezení škod způsobených zásahem je zapotřebí správně volit hasivo, jeho množství a vhodný způsob dodávky. Rozebírání konstrukcí se provádí za účelem nalezení skrytých míst hoření a ohnisek, omezení šíření požáru, odvětrání prostorů apod. Při rozebírání konstrukcí hrozí narušení stability a zřícení nebo narušení technických rozvodů (MV – GŘ HZS ČR, 2017e).

1.5.6 Metodický list 13/P Hašení požáru v podkroví a v půdním prostoru

Požáry v podkroví jsou specifické šířením požáru prostorem mezi střechou a stropem podkroví, nižší požární odolností stavebních konstrukcí a možným omezeným přístupem (zúžené, strmé nebo atypické schodiště). Při požárech v půdním prostoru je nebezpečné šíření požáru po střešní konstrukci, silné zakouření, padání nehořlavé střešní krytiny, skladování různých materiálů, umístění technologických zařízení (MV – GŘ HZS ČR, 2017f).

Hašení požáru v podkroví a půdních prostorech se provádí vnitřními a vnějšími zásahovými cestami a je třeba dbát na efektivnost hašení pro minimalizaci škod způsobených zásahem (MV – GŘ HZS ČR, 2017f).

1.5.7 Metodický list 15/P Požáry střešních konstrukcí

Požáry střešních konstrukcí jsou specifické rychlým rozvojem a šířením požáru doprovázeného vznikem velkého množství kouře. Při požáru může dojít ke zřícení střešní konstrukce, opadávání, odkapávání nebo odletování střešní krytiny. Rychlost rozvoje požáru závisí na typu střešní konstrukce a hořlavosti krytiny (MV – GŘ HZS ČR, 2017g).

Při hašení střešních konstrukcí je třeba dbát na nebezpečí pádu a propadnutí, sledovat rychlost rozvoje požáru. Podle rozvinutí požáru nasadit útočné proudy, buď vnitřní cestou k uhašení nebo na ochranu nosných konstrukcí, nebo vnější zásahovou cestou, na krytinu. Zabránění šíření požáru lze v místech požárně dělících konstrukcí, organizováním požární obrany nebo tvorbou proluk v konstrukci střechy v dostatečné vzdálenosti od fronty šíření požáru. Je potřeba dbát na nebezpečí zřícení střešních konstrukcí a případně jím předcházet např. stržením. Pokud to podmínky dovolují provádět rozebírání střechy za pomoci výškové techniky (MV – GŘ HZS ČR, 2017g).

Komplikacemi při hašení střešních konstrukcí může být nedostatek dopravních kapacit hasiva na celou plochu požáru v potřebné intenzitě, nehořlavá střešní krytina, která neumožní přesnou aplikaci hasiva, nebo technologické vybavení střešních konstrukcí (kolektory, fotovoltaické panely apod.) (MV – GŘ HZS ČR, 2017g).

1.5.8 Metodický list 25/P Hašení vodou elektrických zařízení a vedení pod napětím do 400 V

Metodický list určuje postup jednotek požární ochrany při hašení elektrických zařízení a vedení pod napětím, kde nelze zajistit beznapětový stav. Hašení pod napětím do 400 V vodou je ojedinělý postup, kdy není možné použít hasivo určené pro hašení pod napětím nebo jiný hasební postup, a zároveň jsou ohroženy životy osob, zvířat a hrozí velké materiální škody na majetku. Při hašení je třeba dbát na nebezpečí úrazu elektrickým proudem (MV – GŘ HZS ČR, 2017h).

Hašení vodou elektrických zařízení pod napětím se provádí po rozhodnutí velitele zásahu. Pro bezpečné hašení je nutné používat kombinovanou nebo vysokotlakou proudnici, používat čistou vodu, dodržovat bezpečnou vzdálenost a minimální tlak na proudnici (MV – GŘ HZS ČR, 2017h).

Tabulka 8: Podmínky pro hašení vodou zařízení pod napětím.

Typ proudnice	Druh proudu	Bezpečná vzdálenost (m)	Minimální tlak na proudnici (MPa)
kombinovaná	plný	3,5	0,6
	sprchový	1,5	0,6
vysokotlaká	plný	1,5	2,5
	mlhový	1,5	2,5

Zdroj: Metodický list č. 25/P

Během hašení elektrických zařízení a vedení pod napětím hasiči nesmí být v přímém kontaktu s hasební vodou, např. kaluže nebo odtékající hasební voda, dále se nesmí dotýkat vodivých předmětů, na kterých by se mohlo vyskytnout nebezpečné napětí. Pro přesnou aplikaci hasiva a určení bezpečné vzdálenosti od zařízení pod napětím je na místě zásahu nutná dobrá viditelnost. Nebezpečím při hašení pod napětím je nepředvídatelný pokles tlaku na proudnici a tím ke zhoršení izolačních vlastností sprchového proudu (MV – GŘ HZS ČR, 2017h).

1.5.9 Metodický list 47/P Požáry střešních konstrukcí s fotovoltaickým systémem

Fotovoltaický systém je zařízení z polovodičových článků, které přeměňuje sluneční energii na elektrickou. Fotovoltaické články fungují na principu fotoelektrického jevu,

tedy že při dopadu slunečního světla na článek vzniká elektrické napětí. Metodický list 47/P se zaměřuje na fotovoltaické elektrárny umístěné na střeších obytných domů a kde výkon elektrárny nepřesáhne 10 kWp. Fotovoltaický systém se skládá z několika hlavních částí: fotovoltaické panely z křemíkových článků, které jsou kryty tvrzeným sklem a zapouzdřeny plastem; kabelový rozvod stejnosměrného napětí s jističi; měnič napětí DC/AC nazývaný střídač; kabelový rozvod střídavého napětí s jističi; akumulátory, v případě že jde o ostrovní nebo hybridní systém. Elektrické napětí fotovoltaických panelů dosahuje 20 – 40 V, po sériovém propojení panelů do sekcí vznikne stejnosměrné napětí až 600 V. Stejnoseměrný proud je vedený kabely z panelů do střídače, střídavé napětí na výstupu střídače dosahuje zpravidla 230 V. Proud ze střídače je veden buď do rozvodné sítě domu nebo do veřejné distribuční sítě. V případě osvětleného fotovoltaického panelu nelze přerušit výrobu elektrické energie, možné je odpojení střídače jak ze strany stejnosměrného rozvodu, tak střídavého. Nebezpečná je tedy stejnosměrná část rozvodu (MV – GŘ HZS ČR, 2017ch).

Požáry střech s fotovoltaickou elektrárnou lze rozdělit na: požár elektroinstalace, požár střešní konstrukce s fotovoltaickými panely nebo požár budovy, na které je FV elektrárna umístěna. Při požáru elektroinstalace FV systému je třeba brát v potaz zpětný proud od FV panelů. Při požáru střešní konstrukce s FV panely je rizikem porušení izolace kabelů a možnost výskytu nebezpečného napětí na vodivých prvcích střechy nebo na konstrukci pro uchycení FV panelů. Dále hrozí odtržení panelů od střechy a jejich sesunutí. Při požáru budovy s fotovoltaickou elektrárnou není možno s přesností určit, že budova je odpojena od zdroje elektrické energie (MV – GŘ HZS ČR, 2017ch).

Při požáru střešní konstrukce s fotovoltaickými panely je prvotně potřeba zajistit odpojení FV panelů od střídače a vypnutí přívodu elektrické energie, případně odpojení baterií. Požární obranu provádět jak vnitřní zásahovou cestou, tak vnější zásahovou cestou s ohledem na nebezpečí úrazu elektrickým proudem a řídit se příslušnými metodickými listy. Při vytváření proluk a práci na střeše neodmontovávat FV panely a nedotýkat se kovových částí FV systému nebo střechy. Pokud to není nutné nehasit přímo FV panely, nepřispívají k intenzitě hoření. Při práci na střeše dbát na nebezpečí pádu. V případě neurčitosti zda požárem zasažená elektroinstalace patří k FV systému považovat tyto rozvody za nebezpečné a požadovat odpojení FV panelů. Při nemožnosti odpojení zdroje elektrické energie nad 400 V, může velitel zásahu uplatnit § 14 odst. 2

vyhlášky č. 247/2001 Sb., tedy z důvodu ohrožení života zasahujících hasičů přerušit záchranu osob, zvířat nebo majetku (MV – GŘ HZS ČR, 2017ch).

1.5.10 Metodický list 48/P Požáry střešních konstrukcí s trubicovým fotovoltaickým systémem

Trubicový fotovoltaický systém pracuje na stejném principu jako FV systém s deskovými panely. Rozdíl oproti deskovým panelům je v provedení FV článku, ten je umístěn v trubici vyplněné silikonovým gelem olejem a využívá i světlo odražené z plochy střechy. Trubicové systémy se umisťují výhradně na ploché střechy opatřené reflexním povrchem. Oproti deskovým FV panelům generují jednotlivé trubicové panely větší stejnosměrné napětí, napětí jednoho panelu dosahuje až 130 V, po sériovém pospojování až 1000 V. Hašení požáru a bezpečnostní opatření jsou stejná jako deskového FV systému (MV – GŘ HZS ČR, 2017i).

Požár samotných trubicových FV panelů má většinou horší průběh a větší intenzitu hoření oproti konvenčnímu FV systému. Zhoršený průběh požáru je způsoben gelem nebo olejem v trubicových člancích, který není sám o sobě hořlavý, ale zvyšuje intenzitu požáru, teplota vzplanutí je nad 300 °C. Hašení vodou nemusí být účinné, poté je zapotřebí nasadit útočné proudy nejlépe se střední pěnou. Pěnu pokládat na plochu střechy z velké výšky tak, aby padající pěna nevytvářela souvislý proud. Při praskání FV trubic může docházet ke zvukovému efektu podobnému výstřelu. Dalším negativem trubicových FV systémů je většinou větší instalovaný výkon. Pokud to okolnosti dovolují, je vhodné požadovat přítomnost odborného pracovníka firmy, která fotovoltaický systém instalovala. V případě bezprostředního ohrožení života zasahujících hasičů může velitel zásahu uplatnit § 14 odst. 2 vyhlášky č. 247/2001 Sb., umožňující přerušit záchranných prací (MV – GŘ HZS ČR, 2017i).

2 CÍL PRÁCE A VÝZKUMNÁ OTÁZKA

Cílem této diplomové práce je ověření postupů uvedených v metodických listech Bojového řádu jednotek požární ochrany, a to při zásazích u požárů fotovoltaických systémů hlavně z hlediska bezpečnosti zasahujících hasičů.

2.1 Dílčí cíle

1. Zpracování přehledu používaných fotovoltaických systémů a způsobu provozu FVE.
2. Analýza rizik pro zasahující hasiče a zpracování již zjištěných kazuistik z oblasti bezpečnosti FVE na rodinných domech.
3. Terénní šetření na již fungujících FVE, popis reálného provedení FVE, zpracování dokumentace zdolávání požárů a návrh zajištění větší bezpečnosti hasičů.

2.2 Výzkumná otázka

Do jaké míry Bojový řád odpovídá bezpečným postupům jednotek požární ochrany při požárech fotovoltaických systémů.

3 METODIKA

Pro zjištění cílů stanovených pro diplomovou práci bylo zapotřebí informací ze dvou oborů, a to z oboru elektrotechniky a požární ochrany. Informace do teoretické části byly získány analýzou a rešeršemi internetových serverů, právních předpisů týkajících se problematiky, odborných publikací, Bojového řádu jednotek požární ochrany a technických norem. Analýza rizik byla vytvořena na základě zahraničních odborných publikací a z rozhovorů s příslušníky HZS ČR. Při určování výsledků práce bylo využito terénního šetření na již fungujících malých fotovoltaických elektrárnách, při kterém jsem zjišťoval umístění a uchycení FV panelů na střeše, trasu vedení stejnosměrného proudu, umístění střídačů, umístění a možnosti vypínacích prvků jak pro FVE, tak pro celý objekt. Pozornost byla při terénním šetření věnována hlavně přístupnosti vypínacích prvků, jejich označení a upozornění na nebezpečí související s fotovoltaickými systémy. Z návštěv na FVE jsem pořizoval fotodokumentaci.

Po provedení terénního šetření autor k navštíveným FVE zpracoval dokumentaci zdolávání požárů, ve které byl kladen důraz na nebezpečí úrazu elektrickým proudem při likvidaci požáru. Dalším nestandardním bodem v DZP bylo detailní popsání elektroinstalace FVE. Ve výsledcích jsou dále uvedeny výsledky výzkumů zaměřených na fotovoltaiku a rizika s ní spojená. Byla provedena komparace výsledků z těchto výzkumů, konkrétně z výzkumů provedených v Plzeňském kraji, Německu a Velké Británii. Využití těchto kazuistik dopomohlo k vytvoření celkového obrazu rizik spojených s fotovoltaickými systémy. Přehled některých požárů FVE v České republice byl zpracován na základě zpráv o zásazích zveřejněných na serveru Požáry.cz, kam zprávy posílají tiskoví mluvčí HZS krajů.

V diskuzi autor komparuje hlavně informace získané z Bojového řádu jednotek požární ochrany a scénáři možných komplikací při likvidaci požáru FVE nebo v její bezprostřední blízkosti. Jsou porovnávány možnosti zásahu v České republice a v Německu. V diskuzi jsou také zmíněny možné komplikace v případě požáru navštívených FVE a porovnání informovanosti velitele zásahu v případě zpracované DZP. Dále autor zpracoval návrh na snížení rizik pro zasahující hasiče a úpravu Bojového řádu jednotek požární ochrany. Diskuze také obsahuje upozornění na nebezpečí spojená s povodněmi.

3.1 Výběr objektů s FVE

Objekty s fotovoltaickými elektrárnami do, kde jsem provedl terénní šetření, jsou v okolí mého bydliště. Kritériem pro výběr bylo:

1. umístění FV panelů na střeše,
2. malá FVE do 10 kWp, které jsou nyní podporovány dotačními programy
3. umístění na rodinném domě nebo na budově, která sousedí s obytným objektem

Snažil jsem se vybrat FVE s různým režimem provozu, velikostí FVE, odlišným umístěním FV panelů a dalšími proměnnými, které by mohli znesnadňovat požární zásah a mohli představovat výraznou hrozbu pro zasahující hasiče.

4 VÝSLEDKY

V praktické části diplomové práce bylo provedeno terénní šetření již fungujících malých fotovoltaických elektráren a ve výsledcích je uveden jejich podrobný popis včetně fotodokumentace pořízené autorem. Do výsledků byly zpracovány kazuistiky z výzkumů požárů fotovoltaických elektráren. Tyto výzkumy byly provedeny Ing. Kopačkou v Plzeňském kraji, Výzkumným ústavem v Německu ve spolupráci s Bavorským hasičským sborem, a Hasičským sborem v Anglii. Ve výsledcích je také zpracován přehled již uskutečněných zásahů u požárů souvisejících s fotovoltaickými systémy. Pro navštívené FVE byly zpracovány upravené dokumentace zdolávání požáru, kladoucí důraz na FVE. Pro zpracování výsledků byly použity tyto zdroje: Kopačka, 2012; Backstrom a Dini, 2011; Prume a Viehweg, 2015; České a mezinárodní technické normy, vlastní výzkum.

4.1 Fotovoltaická elektrárna č. 1

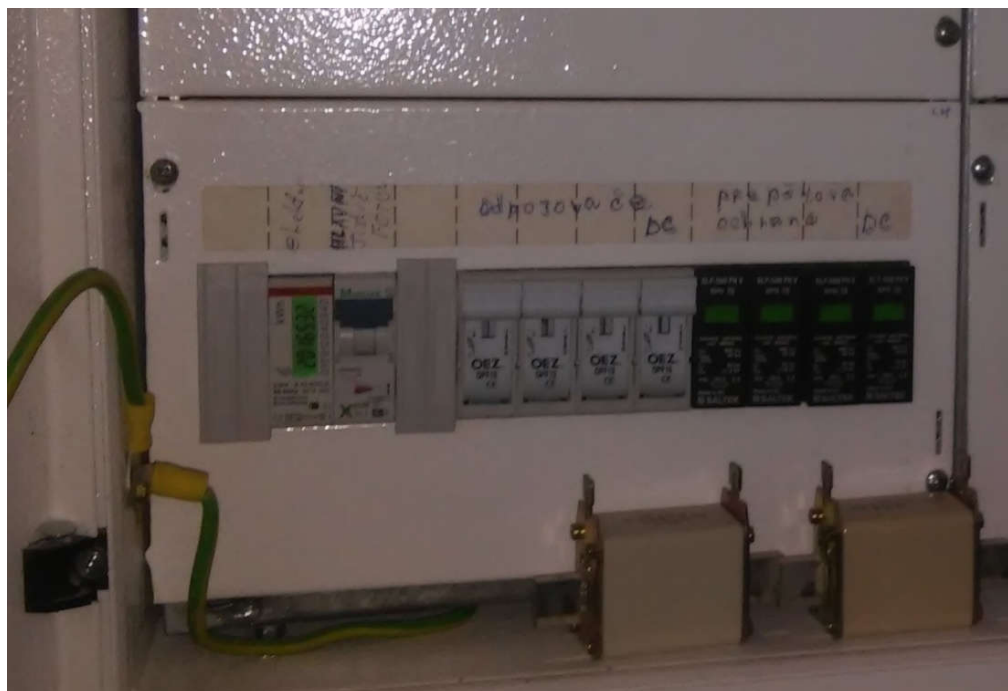
Rodinný dům s popisovanou FVE je o dispozici 5 + 1 ve dvou nadzemních podlažích a půdou. Druhé nadzemní podlaží je tvořeno podkrovím, fotovoltaické panely jsou umístěny na jižní straně sedlové střechy s betonovou krytinou. FV panely jsou ke střeše ukotveny pomocí nosných duralových profilů a hliníkových háků přišroubovaných ke krokvi. Kabelové vedení je po střeše vedeno v instalačních trubkách odolných UV záření. Celkem je pro výrobu elektrické energie použito 23 FV panelů, každý panel má maximální výkon 230 Wp při napětí 29,4 V. Celkový výkon fotovoltaického systému je tedy 5300 Wp, panely jsou zapojeny sérioparalelně a jsou rozděleny do dvou stringů. Jmenovité stejnosměrné napětí stringů je tedy 300 V a 390 V. Nosná a upevňovací konstrukce je napojena na zemnicí soustavu v souladu s ČSN EN 62305. Vnitřní ochrana před bleskem je tvořena potenciálovým vyrovnáním – pospojováním.

Vedení celkem čtyř stejnosměrných kabelů o průřezu 6 mm² od FV panelů je provedeno prostupem ve střeše do prostoru půdy. Na půdě jsou DC kabely vedeny v elektroinstalační ohebné trubce o průměru 40 mm, trubka je přichycena na dřevěnou konstrukci střechy. Dále vedou DC kabely prostupem do 2. nadzemního podlaží, kde jsou kabely vedeny v elektroinstalační liště z PVC. Následně jsou kabely vedeny prostupem ve stropě do 1. nadzemního podlaží, kde jsou ukončeny DC odpojovačem umístěným v rozvaděči. Rozvaděč je umístěn na chodbě za vchodovými dveřmi. Střídač je umístěn vedle rozvaděče. Střídač je jednofázový typu SUNNY BOY 5000 TL s

automatickou synchronizací fáze s distribuční sítí. V případě výpadky elektrické energie v distribuční síti dojde k vypnutí střídače. Přes jistič o hodnotě 20 A a čtyřkvadrantový elektroměr dodává střídač elektrickou energii do distribuční sítě NN. Hlavní vypínač elektrické energie je umístěn v pilíři oplocení pozemku, na kterém se rodinný dům nachází. Délka DC vedení cca 12 m od posledního panelu. Rozvaděč bez jakéhokoliv označení zpětný proud, nebo vypni obě strany, pouze označení pozor elektrické zařízení, popis DC vypínače pouze na jističi (foto) a stejně vypnu pouze cca 2m DC vedení.



Obr. 15: FVE na rodinném domě. Zdroj: autor



Obr. 16: DC odpojovače v rozvaděči. Zdroj: autor

4.2 Fotovoltaická elektrárna č. 2

Fotovoltaická elektrárna je umístěná na rodinném domě o dvou nadzemních podlažích se dvěma garážemi a kotelnou v suterénu. FV panely jsou umístěny na jižní straně střechy, krytina je z betonových tašek. Panely jsou namontovány na hliníkových profilech, které jsou ukotveny pomocí hliníkových háků na latě. Polykrystalické FV panely mají výkon 270 Wp, na střeše jich je umístěno 12 ks, výsledný výkon je tedy 3,24 kWp. Zapojení panelů je sérioparalelní a jmenovité napětí je 90 V, maximální 120 V. DC kabely jsou vedeny půdou k blízkému komínu, který se nepoužívá, a jsou protaženy dovnitř. Komínem jsou DC kabely o průřezu 6 mm² svedeny do suterénu, kde je umístěn střídač a baterie pro akumulaci. Stejnoseměrná část FV systému není uzemněna a je provozována v síti IT.

Střídač a baterie pro akumulaci elektrické energie jsou umístěny ve společném racku. Střídač Good Wee o výkonu 4,6 kW je určený pro hybridní provoz FV elektrárny, výstup z měniče je třífázový, zapojení výstupu je v síti TN – S. Baterie jsou lithium – iontové o celkovém akumulačním výkonu 6 kWh. Jmenovité napětí baterií je 48 V. Za běžného stavu je elektrická energie dodávána do elektrické sítě domu kde je využita, anebo je přes hlavní jistič (3x25 A) a čtyřkvadrantový elektroměr dodávána do distribuční sítě. Zároveň jsou dobíjeny baterie, ze kterých se v noci spotřebovává elektřina na ohřev TUV. Hybridní systém zároveň slouží jako záložní zdroj pro pět zásuvek v suterénu. V případě výpadku dodávky elektrické energie z distribuční soustavy, která zároveň slouží k synchronizaci střídače, je systém přepnut do hybridního módu a dodává elektrickou energii (~50 Hz, 230 V) do zmíněných pěti zásuvek. Na racku chybí označení „Pozor elektrické zařízení“ nebo informace o přítomnosti stálého DC napětí a zpětného proudu. Dále chybí upozornění o zmíněných pěti zásuvkách, které jsou pod napětím i v případě vypnutí hlavního vypínače.



Obr. 17: Rack se střídačem a bateriemi, hlavní vypínač DC přívodu do střídače označen červeně. Zdroj: autor



Obr. 18: Celkový pohled. Zdroj: autor

4.3 Fotovoltaická elektrárna č. 3

Fotovoltaická elektrárna je umístěna na hospodářské budově statku s uzavřeným dvorem. V levé části dvora je obytná část statku, v pravé je zmiňovaná hospodářská budova s FVE. Hospodářská budova byla původně určena pro dobytek, nyní je využívána jako sklad nejrůznějšího materiálu. Budova je přízemní se sedlovou střechou pokrytou pálenou krytinou, na které jsou umístěny fotovoltaické panely dvou typů. V levé části je umístěno 14 polykrystalických FV panelů, v pravé je namontováno 27 monokrystalických panelů. Tyto dva systémy spolu nijak nepracují, na objektu jsou tedy instalovány dvě FVE, které se spojují až v hlavním rozvaděči v obytném objektu. Existence dvou FVE je způsobena rozdílnou dobou realizace, provedení obou systémů je podobné a popíši ho jako jeden. FV panely jsou ke střeše uchyceny standardním způsobem pomocí háků na krokách a konstrukcí z hliníkových profilů. Na střeše je instalováno celkem 41 FV panelů, které jsou zapojeny do pěti stringů o napětí okolo 300 V. Celkový instalovaný výkon panelů je 9,83 kWp. Panely a jejich konstrukce není připojena na hromosvod, i když je na objektu instalován. Stejnoseměrné kabely jsou vedeny v elektroinstalačních trubkách odolných UV záření, svod je veden podél okapového žlabu do výklenku cca 3 m nad zemí, kde jsou umístěny střídače a rozvaděče s jističi a přepětovými ochranami.

Vzhledem k instalaci dvou na sobě nezávislých FVE jsou i další technologie zdvojené. Střídače a rozvaděče jsou umístěné ve výklenku na fasádě ve výšce cca 3 m nad zemí. Střídač pro menší a starší FVE je jednofázový a má jmenovitý výkon 4 kW, výstup ze střídače je opatřen přepětovou ochranou a jističem o hodnotě 16 A. Druhý střídač je třífázový a má jmenovitý výkon 8 kW, na výstupu je také přepětová ochrana a třífázový jistič 3 x 10 A. Střídače jsou připojeny do sítě TN – C. Vedení 230/400 V ~ je od FVE vedeno do hlavního rozvaděče v obytné části. Fotovoltaická elektrárna funguje v grid – on režimu, přebytečná elektřina, která se nespoteřebuje je přes čtyřkvadrantový elektroměr dodávána do veřejné distribuční sítě. Hlavní vypínač elektrické energie a elektroměr je ve sloupku plotu na hranici pozemku. V případě vypnutí elektrické energie hlavním vypínačem dojde k přerušení dodávání elektrické energie střídači.



Obr. 19: Technologické vybavení FVE. Zdroj: autor



Obr. 20 Celkový pohled na FVE. Zdroj: autor

4.4 Fotovoltaická elektrárna č. 4

Čtvrtá navštívená fotovoltaická elektrárna nespadá do kategorie malých FVE do 10 kW_p, jelikož tento výkon převyšuje, ale je umístěna na hospodářské budově, která je napojena na rodinný dům. FVE je umístěna na jižní straně sedlové střechy hospodářské budovy, která tvoří s obytným objektem a dalšími hospodářskými budovami uzavřený

dvůr. Na střeše s pálenou střešní krytinou je instalováno celkem 96 monokrystalických fotovoltaických panelů, každý o výkonu 180 W a jmenovitém napětí 38 V. Celkový instalovaný výkon je tedy 17,28 kW. FV panely jsou pomocí hliníkových profilů uchyceny ke krokvim střechy, hliníková konstrukce není uzemněna. FVE je rozdělena do celkem šesti stringů po šestnácti panelech, kdy jmenovité napětí stringu je 608 V. Výkon je z panelů vyveden pomocí stejnosměrných kabelů pro solární elektrárny o průřezu 6 mm². Kabely vedoucí stejnosměrný proud jsou uchyceny na hliníkové konstrukci nesoucí FV panely a prostupem ve střeše svedeny do přízemí budovy. Od prostupu ve střeše až ke střídačům jsou kabely vedeny v PVC elektroinstalační liště. Na stejnosměrném vedení není umístěn žádný vypínací ani jistící prvek, odpojení stejnosměrných kabelů je možné pouze přímo ve střídači.

Fotovoltaická elektrárna funguje v režimu grid – on a jako měniče napětí používá dva třífázové střídače SUNNY BOY TL 9000, každý z nich má jmenovitý výkon 9 kW a výstupní napětí je 400 V. Střídače jsou vybaveny automatickou synchronizací fází s distribuční soustavou a v případě výpadku elektrického proudu se automaticky odpojí od sítě. Střídače jsou umístěny na zdi v dílně v přízemí hospodářské budovy. Střídavé vedení elektrického proudu od střídačů je připojeno kabelem CYKY 3x2,5 mm² do podružného rozvaděče umístěného vedle střídačů. Připojení střídačů je v rozvaděči jištěno třífázovým jističem o hodnotě 16 A. Střídače jsou připojeny v síti TN – S. Hlavní jistič je umístěn v rozvaděči na fasádě obytného objektu a má hodnotu 32 A. Vyrobena elektrická energie je přes čtyřkvadrantový elektroměr dodávána do veřejné distribuční sítě.



Obr. 21 Pohled na FVE. Zdroj: autor



Obr. 22 Střídače FVE. Zdroj: autor

4.5 Experimentální požár a kazuistiky z oblasti bezpečnosti hasičů

Z důvodu velkého množství rizik pro zasahující jednotky požární ochrany při požárech fotovoltaických systémů byl v Plzeňském kraji Ing. Josefem Kopačkou proveden experimentální požár fotovoltaické elektrárny umístěné na střeše bývalé tělocvičny. Cílem experimentálního požáru bylo ověřit chování fotovoltaických panelů, technologického vybavení a dobu výroby elektrické energie během požáru. Celkem byly ověřeny tři typy provedení FVE. Hlavními zkoumanými znaky byla odolnost sendvičové skladby FV panelu, funkčnost systému během tepleného namáhání, průběh napětí v závislosti na teplotě, konstrukce střechy a typ krytiny. Další výzkumy pro zjištění nebezpečnosti fotovoltaických elektráren pro hasiče proběhly v Německu a ve Velké Británii.

4.5.1 Pokusy s FV panely

Při pokusech se samotnými fotovoltaickými panely byla zkoušena hořlavost a tepelná odolnost panelů. Při iniciaci panelu autogenovou soupravou probíhalo plamenné hoření po dobu přibližně 5 s. Při zkoušce tepelným namáháním panely do teploty 350 °C nevykazovaly žádné viditelné známky destrukce, od 350 °C dochází k praskání krycího skla a odlupování spodních vrstev panelu. Při teplotách okolo 500 °C probíhá rozpad všech vrstev FV panelu a neporušen zůstává pouze hliníkový rám.

Zkouška funkčnosti panelů a schopnosti generovat elektrické napětí při požáru byla provedena na třech různých typech krytiny, hliníkový plech, asfaltová lepenka a pálené tašky. Krov střechy tvořily trámy, střešní krytina byla podbita prkny s příčnými latěmi. Experimentální FV elektrárnu tvořily tři samostatné stringy z monokrystalických panelů. Kabely vedoucí od panelů byly vyvedeny pod střechu a kryté protipožárním sádkokartonem s požární odolností 15 minut svedeny do přízemí k měřicím přístrojům. Snahou bylo, aby se podmínky blížily podkrovnímu bytu. Celkový instalovaný výkon byl cca 1800 Wp a maximální napětí 480 V. FV elektrárna neobsahovala střídače, pokusy byl prováděn pouze se stejnosměrnou částí systému, tedy s částí, která představuje největší riziko při požáru FV systému.

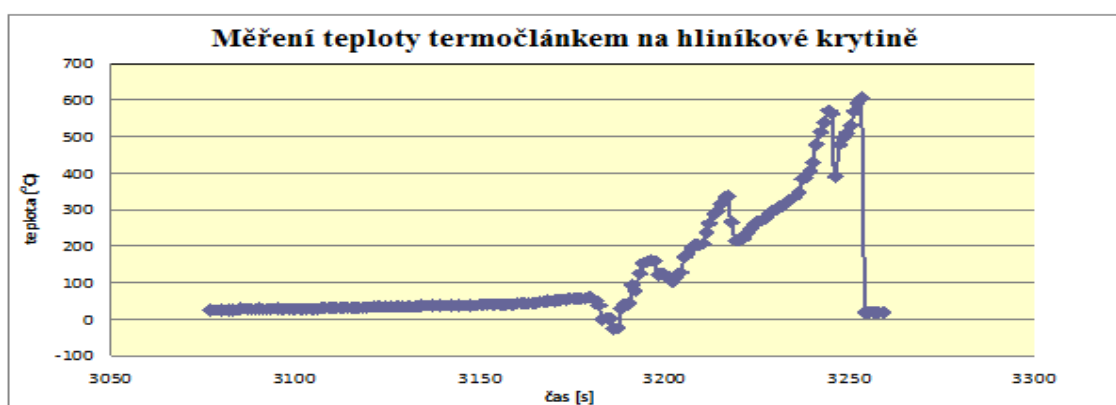
Ještě před iniciací požáru budovy byly provedeny různé pokusy týkající se šíření stejnosměrného proudu. Byl ověřen vznik elektrického oblouku přiblížením dvou pólů systému. Přestože systém pracoval pouze na pětinu výkonu (cca 300 W) nebyl problém s vytažením elektrického oblouku. Elektrický oblouk byl bez problému vytažen i ve vodě. Další pokus byl zaměřen nebezpečí související s rozebíráním střešních konstrukcí. Při pokusu byly záměrně kabely přerušovány bourací sekerou nebo pomocí nůžek. Při přerušení jednoho pólu samozřejmě nedocházelo ke znatelnému jiskření, ale při přeseknutí nebo přestřížení obou pólů již dochází k jiskření a vytahování elektrického oblouku. Při vytažení elektrického oblouku hrozí iniciace dalšího požáru a riziko dlouhého trvání elektrického oblouku.

4.5.2 Experimentální požár FV systému

Po provedení dílčích pokusů byl iniciován požár budovy s instalovanými FV panely. Při požáru byla sledována doba od iniciace požáru až do doby přerušení dodávky elektrického proudu FV panely. Dále bylo prováděno měření teploty FV panelů pomocí termočlánků a měření napětí. Toto měření probíhalo na všech třech typech střešní krytiny. Cílem měření tedy bylo: jak dlouho bude FVE funkční při tepelném namáhání, jaký je průběh stejnosměrného napětí při požáru, jaký vliv má tepelné namáhání na účinnost FVE, chování FVE na různých typech krytin a odolnost solárních kabelů.

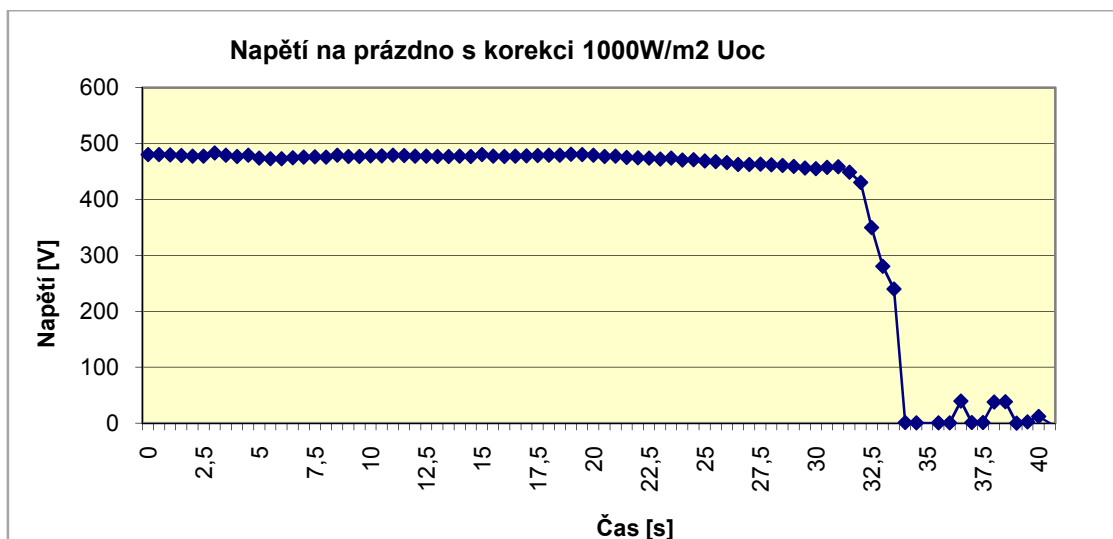
Při měření teploty bylo využito termočlánků umístěných na panelech a termokamery. V případě hliníkové krytiny střechy docházelo k ohřívání panelů velmi pomalu a panely dlouhou dobu držely konstantní teplotu a teplota stoupala pomalu. Tento jev byl zřejmě způsoben vzduchovou mezerou mezi krytinou a panely, tato mezera je způsobena

konstrukčním řešením uchycení panelů. Ani při plném rozvoji požáru teplota nijak výrazně nestoupala, velký nárůst teploty byl zaznamenán, až když došlo k prohoření střešní krytiny a panely nebyly nijak odstíněny. Po prohoření střechy došlo ke zvýšení teploty panelu na 600 °C a následnému propadu panelu. Doba od prohoření střechy do propadu prvního panelu byla 5 minut, od doby iniciace požáru cca 17 minut. V případě experimentu na střeše s pálenými taškami byl tento prostor zasažen požárem pouze okrajově a oheň nehořel přímo pod krytinou. Nedošlo tedy k prohoření střešní krytiny a panely nedosáhly takové teploty, aby byly pozorovány nějaká poškození nebo degradace panelu.



Obr. 23: Graf teploty. Zdroj: Kopačka, 2012

Měření volt – ampérových charakteristik zjistilo, že požár probíhající pod střešní krytinou nijak neovlivňuje fotovoltaický systém, ať už z pohledu napětí nebo dodávaného výkonu. Teplotní závislost FV panelů do teploty 300 °C je malá, až po překročení této teploty dochází k prudkému poklesu napětí a dodávaného výkonu, po překročení teploty 400 °C dochází k degradaci a propadům panelů, po propadu panelů jsou však FV panely schopny dále generovat elektrické napětí. Provedení takového experimentu je však velice náročné.



Obr. 24: Graf průběhu napětí na výstupu FVE – časová osa nesouhlasí.

Zdroj: Kopačka, 2012

Během měření nedošlo na solárních kabelech k prokazatelnému zkratu a zajištění beznapěťového stavu na výstupu FVE. Při experimentu bylo zjištěno, že při požáru fotovoltaického systému má požár v objektu zanedbatelný vliv na pokles výstupního stejnosměrného napětí potažmo dodávaného výkonu, pokud požár přímo neovlivňuje FV panely na střeše. Po propadnutí panelů dochází k rozpojení stejnosměrné elektroinstalace, nikoliv však k přerušení generování napětí jednotlivými FV panely.

4.5.3 Elektrická vodivost místa zásahu

Při experimentech souvisejících s fotovoltaickými systémy se provádělo hlavně měření svodových proudů s odkazem na normu DIN VDE 0132, měření vodivosti a ochranného účinku osobních ochranných prostředků a měření míry nebezpečí úrazu elektrickým proudem v zatopených oblastech. Obecné riziko při hašení elektrických zařízení je v přenosu elektrického proudu přes vodu, zejména přes hasební vodu. FV systémy se dle norem řadí do kategorie zařízení nízkého napětí, riziko pro člověka ale nepředstavuje přímo napětí, ale elektrický proud, který díky rozdílu potenciálu napětí začne proudit přes lidské tělo. Průchod proudu lidským tělem může mít fyziologické, fyzikální a chemické účinky, toto závisí na typu a velikosti proudu, cestě proudu tělem a dobou průchodu proudu.

4.5.4 Účinky stejnosměrného elektrického proudu na lidské tělo

Norma IEC 60479-1 stanovuje rozsahy stejnosměrných proudů protékajících lidským tělem. Při průchodu do 2 mA je možné již vnímat průchod proudu tělem, ale hodnota nepřestavuje prakticky žádné riziko a proud nevyvolává žádné reakce. Při průchodu proudu do 25 mA je jisté vnímání proudu člověkem a mohou nastávat nedobrovolné svalové kontrakce. Škodlivé fyziologické účinky se však nepředpokládají. V oblasti 25 – 150 mA se vyskytují silné nedobrovolné svalové kontrakce, potíže s dýcháním a srdeční arytmie. Při průchodu proudu větším než 150 mA se projevují patofyziologické účinky jako ventrikulární fibrilace, zástava dechu, poškození buněk a popáleniny. Život ohrožující je stejnosměrný proud o hodnotě 150 mA a vyšší a době průtoku proudu 1 vteřinu. Na velikosti protékajícího proudu závisí impedance lidského těla, která se mění a je rozdílná v různých částech těla a závisí na cestě proudu.

Účinky stejnosměrného proudu nelze přesně přiřadit k určité hodnotě proudu, zde se proto hodnoty proudu z jednotlivých výzkumů mírně rozcházejí. Výzkum provedený ve Velké Británii uvádí jako nebezpečnou hodnotu proudu 40 – 240 mA. V tomto rozsahu proudu protékajícího tělem dochází ke ztrátě kontroly svalů a může dojít k zástavě dechu. Toto však opět závisí na tělesném stavu jedince, místě průchodu a okolních podmínkách.

Tabulka 9: Účinky stejnosměrného proudu

Fyziologický efekt	Proud procházející tělem [mA]
Práh vnímání	2
Neschopnost pustit se	40
Ventrikulární fibrilace	240
Popáleniny	70

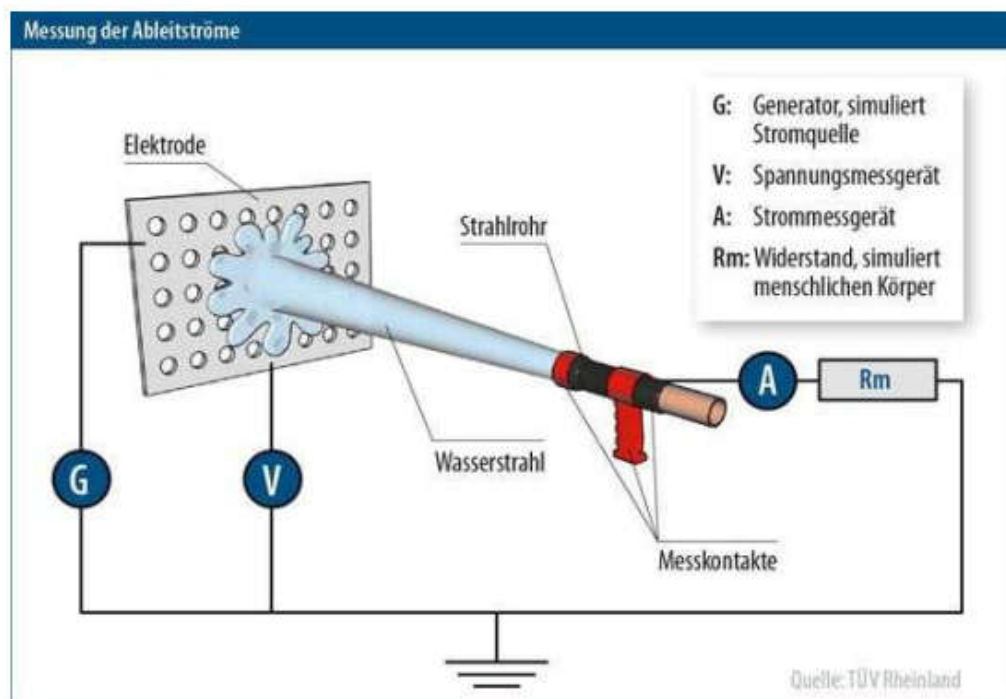
Zdroj: Backstrom a Dini, 2011

4.5.5 Hašení vodou elektrických zařízení pod napětím

Pro zabránění přenosu elektrického potenciálu na proudnici je při hašení elektrických zařízení pod napětím vodou zapotřebí dodržovat předepsané vzdálenosti hasičů a tlaky na proudnici. V České republice jsou tyto hodnoty určeny Bojovým řádem jednotek požární ochrany, konkrétně metodickým listem 14/N. V Německu jsou hodnoty stanoveny normou DIN VDE 0132, tyto vzdálenosti platí pro standardizované C proudnice dané normou DIN EN 15182-3. Princip hašení pod napětím spočívá

v rozprášení vodního proudu na malé kapičky. V případě kvalitního rozprášení vodního proudu jsou jednotlivé kapičky vody od sebe elektricky izolovány, takový proud však pro lidské oko stále vypadá jako kompaktní.

Měření svodových proudů bylo provedeno na simulovaném elektrickém zařízení pod napětím 1000 V DC, proudnice byly umístěny ve vzdálenosti 1 m pro roztržitý proud a 5 m pro plný proud jak udává norma DIN VDE 0132 – Hasicí technika a hašení v oblasti elektrických instalací. Při pokusu byla jako hasivo použita voda se elektrickou vodivostí 630 $\mu\text{S}/\text{cm}$, teplota vody 20 °C. Dále byla ověřena větší vodivost hasiva při použití pěnidla, i když nesmí být pěna použita při hašení elektrických zařízení pod napětím. Při pokusu byla použita standardizovaná C proudnice CM s průměrem trysky 9 mm a průtokem cca 120 l/min při tlaku 5 barů. Dále byla zkoušena kombinovaná C proudnice s nastavitelným průtokem 55, 120 a 215 l/min při tlaku 5 barů. Kombinovaná proudnice umožňovala změnu proudu od plného po sprchový s úhlem 120 °. Během pokusu byla voda z proudnic vstřikována na děrovanou železnou desku pod napětím 1000 V DC. Během experimentu bylo zkoušeno různé nastavení proudnic.



Obr. 25: Schéma měření svodových proudů. Zdroj: Prume a Viehweg, 2015

Při experimentu byly změřeny proudy protékající vodním proudem, tyto proudy nepřekročily hodnotu 25 mA. Při dodržení doporučených bezpečných vzdáleností nejsou svodové proudy pro hasiče nebezpečné. Při použití pěnidla jako smáčedla již

hodnoty svodových proudů překračovaly 25 mA. Je však pravděpodobné, že hasiči ucítí protékající proud a mohou pociťovat slabé svalové kontrakce. Intenzita těchto stavů závisí na použitých osobních ochranných pomůckách, jejich stavu a namočení. Pro zjištění ochranného účinku osobních ochranných prostředků byla využita figurína simulující lidské tělo a vybavení měla shodné jako hasič u zásahu. Při pokusu bylo na jednotlivé body na figuríně přikládáno napětí o hodnotě 1000 V a byl měřen proud figurínou. Suché oblečení má velký odpor, takže působí jako dobrý izolant, ale při lokálním snížení odporu docházelo k propálení oblečení a nárůstu proudu. Mokrý oblečení vykazovalo mnohem horší hodnoty z hlediska úrazu elektrickým proudem. Mokrý oblečení má naopak malý odpor, např. rukavice má 50 Ω , malý odpor ochranných pomůcek a malý přechodový odpor má za následek při dotyku 1000 V DC průchod život ohrožujícího proudu. Během měření hodnoty proudu dosahovaly až 1,5 Ampér. Při měření odporu jednotlivých osobních ochranných pomůcek největších hodnot dosahovala zásahová obuv.

4.5.6 Měření krokového napětí ve vodě

Jiná situace nastává, pokud hasič stojí ve vodě, která má elektrický potenciál. Během tohoto pokusu bylo simulováno zatopení střídače např. při povodních nebo ponoření poškozených DC kabelů do louží apod. vytvořených během hasebního zásahu. Při povodních hrozí úraz elektrickým proudem při odčerpávání vody ze sklepů apod., ve kterých se nachází DC část systému, střídače pro vnitřní montáž nemají žádné krytí proti vniknutí vody. Simulace zatopeného prostředí byla provedena v dětském nafukovacím bazénku s cca 5 cm vody. Do vody byly umístěny oba DC póly FV systému ve vzdálenosti asi 10 cm od sebe. Napětí naměřené na přívodu bylo 328 V, maximální proud 7,7 A. Po umístění pólů do vody byla ihned zjevná probíhající elektrolyza vody a unikající vodík. Při pokusu byly naměřeny tyto hodnoty: krokové napětí 1 m od pólů a délce kroku 90 cm 128 V, při délce kroku 50 cm to bylo 78 V. V případě delšího kroku se i v normálním prostředí dostaneme na hodnoty nebezpečného napětí, místo zásahu se však podle Bojového řádu považuje za zvlášť nebezpečný prostor a bezpečné dotykové stejnosměrné napětí na neživé části zařízení dle normy ČSN 33 2000-4-41 ed.2 je 25 V. Při dotyku živých ve zvlášť nebezpečných prostorech není bezpečné dotykové napětí stanoveno. Další komplikací při riziku krokového napětí ve vodě je namočení osobních ochranných prostředků hasičů a tím

snížení přechodových odporů, průchod proudu přes lidské tělo má tedy volnou cestu, viz. předchozí odstavec.

4.5.7 Provedení hasebního zásahu

Při volbě vhodného hasiva pro hašení elektrických zařízení pod napětím se jako nejvhodnější nabízí hašení sněhem, čili CO₂. Každý požární automobil však disponuje zpravidla jedním až dvěma hasicími přístroji á 5 kg CO₂ a stejného množství práškových hasicích přístrojů. Takové množství hasiv je však pro hašení požárů už ve druhé fázi nedostačující. Je možnost využití speciální požární techniky, jako jsou kombinované hasicí automobily nebo plynové hasicí automobily. Tato speciální technika je většinou dislokována pouze na centrálních požárních stanicích a doba dojezdu speciální techniky může být i v řádech desítek minut. Pro hasební zásah, je tedy nutné použít jako hasivo vodu, v případě výskytu fotovoltaických systémů je nutné postupovat podle metodického listu č. 25/P Bojového řádu jednotek požární ochrany. Tento metodický list je zpracován pouze pro hašení elektrických zařízení pod napětím do 400 V, ale ve fotovoltaických systémech se vyskytují napětí až do 1000 V. Pokud tedy na místě zásahu není dokumentace k FV systému a informace o maximálním napětí např. od majitele nejsou zaručené je zapotřebí počítat s výskytem napětí až 1000 V. Ve výbavě požárních automobilů většinou nejsou voltmetry pro zjištění skutečného napětí, navíc takové měření by vyžadovalo přezkoušení hasiče podle vyhlášky č. 50/1978 Sb., přezkoušení by se vztahovalo na hasiče provádějícího měření. Tyto fakta prakticky vylučují provedení hasebního zásahu podle metodického listu č. 25/P Hašení vodou elektrických zařízení a vedení pod napětím do 400 V.

Hašení akumulátorů, které jsou součástí hybridních FVE v sobě zahrnuje více rizik najednou. Lithium – iontové akumulátory jsou hořlavé a po zahřátí dochází k samovznícení, při hašení je tedy nutné ochlazovat i požárem nezasažené články a nedošlo tak u nich k samovznícení. Kontrolování teploty článků a průběžné ochlazování je nutné i několik hodin po likvidaci požáru, pro kontrolu teploty článku je vhodná termokamera. Během hašení a ochlazování je třeba dbát na nebezpečí úrazu elektrickým proudem, akumulátory jsou připojeny k regulaci nabíjení, která může stále dodávat elektrický proud a články sami o sobě mají velkou kapacitu, řádově kWh. V případě zapojení článků do série může být na výstupu napětí stovky voltů. Pro hašení samotných akumulátorů je z důvodu samovznítitelnosti a aplikace co nejmenšího

množství hasiva nejlepší střední pěna, která má ovšem větší elektrickou vodivost. K samovznícení může dojít i za nepřístupu vzduchu – katoda má oxidační potenciál. Při hašení vodou je třeba dbát kontaminaci hasební vody elektrolytem a zabránit jejímu úniku do životního prostředí. Hořící lithium – iontové články vyvíjejí toxický a žíravý šedobílý kouř, obsahující kyselinu fluorovodíkovou a fosforečnou, který skrápěním vodou můžeme neutralizovat, případně použít přetlakovou ventilaci k odvětrání místnosti. Při použití velkého množství vody nebo zatopení článků vodou bude docházet k elektrolýze vody a vznikání výbušné směsi vodíku a kyslíku, v tomto případě je také nutné zajištění dostatečného odvětrání.

4.5.8 Proudnice použitelné pro hašení pod napětím

Metodický list pro hašení pod napětím do 400 V neudává konkrétní modely proudnic určené pro hašení pod napětím, ale určuje je pouze typově. Jako povolené proudnice určuje kombinované a vysokotlaké, tyto proudnice jsou v běžné výbavě jednotek požární ochrany. Druh proudu je rozdělený na plný a sprchový.



Obr. 26: Kombinovaná proudnice.

Zdroj: <https://www.vyzbrojna.cz/cz/901/2929/galaxie-500-kombinovana-proudnice.html>



Obr. 27: Vysokotlaká proudnice.

Zdroj: <http://www.jetex.cz/sortiment/proudnice-klice-prechody-spojky-vicka/proudnice/proudnice-vysokotlaka-awg>

V Německu stanovuje norma DIN VDE 0132 obdobný postup jako Bojový řád JPO v České republice. Norma požaduje jako bezpečnou hranici elektrického proudu 1 mA a určuje přesné modely proudnic určených pro hašení pod napětím. Hranice maximálního možného napětí na elektrickém zařízení hašeného vodou je zde zvýšena na 1000 V AC a 1500 V DC. Dle pokynů výrobce proudnice lze provádět i hašení vyššího napětí.

Tabulka 10: Podmínky pro hašení vodou pod napětím podle DIN VDE 0132

Kombinovaná proudnice	Nízké napětí do 1000 V střídavé, do 1500 V stejnosměrné	Vysoké napětí nad 1000 V střídavé, nad 1500 V stejnosměrné
Roztříštěný proud	1 m	5 m
Plný proud	5 m	10 m

Zdroj: Thomiczek a Trčka, 2013



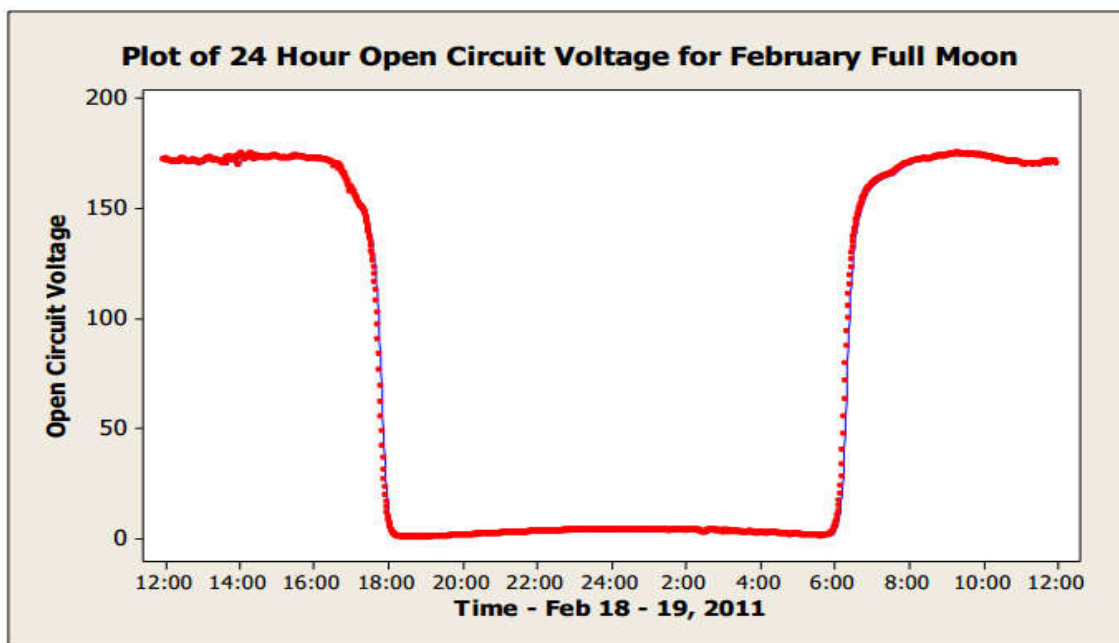
Obr. 28: Označení proudnice AWG Turbospritze 2130 C pro hašení elektrických zařízení. Zdroj: Thomiczek a Trčka, 2013

4.5.9 Umělé osvětlení a měsíční svit

Vzhledem k fyzikálnímu principu FV panelů založeném na dopadu fotonů je jedno jaký je zdroj fotonů, ať už je to sluneční svit nebo umělé osvětlení. Při zásazích ve večerních a nočních hodinách se pro osvětlení místa zásahu používají osvětlovací stožáry, osvětlovací balóny a osvětlovací stativy. Jako zdroj světla se většinou používají halogenové žárovky o výkonu 1000 W, výbojky o výkonu do 1000 W a LED světlotometry o výkonu až 150 W. Výkon dodávaný FV systémem za umělého osvětlení závisí hlavně na vlnové délce světla zdroje a na homogenitě osvětlení FV panelů. Výzkumem zaměřeným na nebezpečí vzniklé umělým osvětlením FV panelů při zásahu se zabývali hasiči z Kolína nad Rýnem. Při osvětlení FV panelů halogenovými žárovkami je účinnost fotovoltaického jevu největší, největší účinnost byla při užití žárovek H7. Při užití LED zdrojů byla účinnost FV panelu přibližně 10x menší. Použití LED reflektorů je tedy z hlediska bezpečnosti před úrazem elektrickým proudem vhodnější. V případě použití zdrojů světla s halogenovými žárovkami se doporučuje odstupová vzdálenost od FV panelů, pro 4 kW instalovaného výkonu reflektorů je to 16 metrů, pro 8 kW je to 22 metrů.

Při nočních zásazích je třeba brát v úvahu také osvětlení FV panelů měsíčním svitem, i tento druh světla může ve FV panelech generovat elektrické napětí. Měsíčním osvětlením

se zabývali hasiči ve Velké Británii. Během noci FVE vyrábí elektrický proud, ale při zapojení používaným u FVE nejsou tyto hodnoty nebezpečné.



Obr. 29: Graf průběhu napětí v závislosti na čase (24h). Zdroj Backstrom a Dini, 2011

4.6 Požáry s přítomností fotovoltaických systémů

Každý požár je svým průběhem specifický a jeho likvidace tudíž také. Ještě větší odlišnost od běžných požárů domů je při přítomnosti fotovoltaických systémů, které jsou zasaženy nebo jsou v přímé blízkosti požáru. Velitel zásahu musí nasazovat síly a prostředky s ohledem na ztíženou situaci způsobenou nebezpečím úrazu elektrickým proudem a dalšími riziky uvedenými výše.

4.6.1 Požár fotovoltaické elektrárny na střeše, Baška

Operační středisko HZS Moravskoslezského kraje vyslalo v pátek 15. 7. 2016 po jedné hodině odpolední čtyři jednotky hasičů do obce Baška v okrese Frýdek – Místek, kde byl hlášen kouř vycházející ze střechy domu, na střeše domu se nacházely fotovoltaické panely (Holub, 2016).

Při příjezdu první jednotky na místo události bylo zjištěno, že budova je uzamčena a ze střechy vychází kouř. Majitel objektu se na místě nenacházel, a tak hasiči provedli násilný vstup a při průzkumu v zakouřené budově zjistili, že hoří rozvaděč a měnič fotovoltaické elektrárny. Protože zásah probíhal okolo jedné hodiny odpolední, tak

fotovoltaické panely stále dodávaly elektrický proud do poškozených rozvodů zasažených požárem. Na lokalizaci požáru hasiči použili sněhové a práškové hasičí přístroje. Majitel, který se dostavil na místo, přivolal odbornou firmu na odpojení fotovoltaických panelů a až poté byla provedena likvidace požáru pomocí vysokotlakého proudu (Holub, 2016).

Majitel způsobenou škodu vyčíslil na 300 tisíc Kč, příčinou vzniku požáru byla technická závada na elektroinstalaci. Při požáru nebyl nikdo zraněn (Holub, 2016).

4.6.2 Požár střechy v Plzni

26. září 2016 byl po sedmé hodině večer nahlášen požár střechy bytového domu v centru Plzně. Operační středisko HZS Plzeňského kraje na místo vyslalo čtyři jednotky hasičů s pěti cisternami, výškovou technikou a speciálním vysokotlakým zařízením Cobra (Jakoubková, 2016)

Při příjezdu jednotek na místo události již strážníci městské policie prováděli evakuaci obyvatel zasaženého domu. Průzkumem bylo zjištěno, že hoří střecha domu o 3 nadzemních podlažích a pěti bytech. Obyvatelé domu byli evakuováni. Na hořící střeše se nacházely fotovoltaické panely. Lokalizace požáru trvala přibližně hodinu, poté začali hasiči s rozebíráním střešní konstrukce dohašováním skrytých ohnisek. Během likvidace již byla tma a fotovoltaické panely již neohrožovaly hasiče elektrickým proudem, ale hrozilo jejich zřícení vlivem většího zatížení prohořelé střechy. Při požáru nebyl nikdo zraněn (Jakoubková, 2016).



Obr. 30: Požár střechy v Plzni. Zdroj: Jakoubková, 2016

4.6.3 Požár bývalého cukrovaru Zákolany

V listopadu 2012 došlo k požáru skladovací haly bývalého cukrovaru v obci Zákolany ve Středočeském kraji. Původní hala cukrovaru byla během 20. století přestavěna na skladové prostory a od roku 2009 byla pronajímána několika nájemcům jako sklady nebo dílny. Dotčený objekt je zděný, třípodlažní a částečně podsklepený se sedlovou střechou s plechovou krytinou a částečně používanou půdou. Celý objekt má rozměry 85 x 17 m. V roce 2010 byla na jižní stranu střechy instalována fotovoltaická elektrárna s elektrovýzbrojí umístěnou uvnitř objektu (Jírový et al., 2016).

Po ohlášení požáru vyslalo operační a informační středisko na místo 3 jednotky PO. Prvotním průzkumem na místě zásahu bylo zjištěno, že hoří uvnitř budovy, požár je ve 2. až 3. fázi a rychle se šíří. Po násilném vniknutí do objektu a zahájení hasebních prací dvěma C proudy došlo k prohoření pater a částečnému propadnutí střechy s fotovoltaickými panely. Vzhledem k šíření požáru vyhlásil velitel zásahu nejprve II. stupeň požárního poplachu a následně i III. stupeň požárního poplachu a jednotky PO prováděly požární obranu nezasažených částí objektu. Kvůli velkému počtu automobilů okolo objektu bylo složité ustavit výškovou techniku. Vzhledem k velkému rozsahu požáru a velkému sálavému teplu bylo hašení prováděno z výškové techniky a z vnějšku objektu, fotovoltaická elektrárna tedy nepředstavovala zvýšené nebezpečí pro zasahující hasiče. Na místě zasahovalo 25 JPO, příčina požáru bylo úmyslné zapálení. Negativem

zásahu byla špatná komunikace s ostrahou objektu a majitelem vlivem šoku (Jírový et al., 2016).



Obr. 31: Střecha s FV panely zasažená požárem. Zdroj: Jírový et al., 2016

4.6.4 Požár skladové haly ve Všechromech

V srpnu 2012 byl ohlášen střechy skladové haly ve Všechromech ve Středočeském kraji, na místo byly vyslány dvě jednotky PO. Během jízdy k zásahu byl vidět sloup černého kouře a velitel jednotky ze stanice Říčany si vyžádal povolat další tři jednotky PO včetně výškové techniky. Průzkumem na místě byl zjištěn požár ploché střechy a fotovoltaických panelů na ploše 20 x 20 m, celková plocha střechy byla 520 x 100 m. Správce podniku vypnul přívod elektrické energie a odpojil FVE. Následně byly nasazeny dva C proudy na střechu pomocí suchovodu. Vzhledem k prohořívání střechy do skladu byl velitelem zásahu vyhlášen II. stupeň požárního poplachu a požářiště bylo rozděleno na dva úseky – střecha s FV panely a prostor skladu. Na lokalizaci požáru FV panelů na střeše byly ještě nasazeny dva kusy výškové techniky, AP na průzkum šíření požáru a AZ s C proudem na zabránění šíření požáru. Hašení bylo prováděno roztržitým proudem kvůli kabeláži FVE, která byla stále pod proudem. Celková plocha zasažená požárem byla přibližně 1600 m². Požár byl způsoben poškozenou izolací kabelů, škoda byla vyčíslena na 17 milionů korun. Pozitivy při zásahu byla dobrá úroveň odborné přípravy JSDHO, dostatečná hydrantová síť, dobrá spolupráce se správcem a majitelem FVE, a že nedošlo ke zranění zasahujících. Negativum byl nedostatek informací – absence operativní karty a označení rozvodny, solární zařízení

neustále pod napětím, nebezpečí úrazu elektrickým proudem a nebezpečí pádu, neoznačené komunikační cesty mezi FV panely, poškozování požárních hadic o ostré hrany konstrukce FV panelů, možnost propadu střechy (Krejčárek, 2013).



Obr. 32: Hořící střecha s FV panely.

Zdroj: <https://www.pozary.cz/clanek/57562-ve-vsechromech-horely-fotovoltaicke-panely-na-strese-skladove-haly-u-pozaru-zasahovalo-nekolik-jednotek-hasicu/>



Obr. 33: Hašení FV panelů.

Zdroj: <https://www.pozary.cz/clanek/57562-ve-vsechromech-horely-fotovoltaicke-panely-na-strese-skladove-haly-u-pozaru-zasahovalo-nekolik-jednotek-hasicu/>

4.6.5 Požár střechy rodinného domu Tlustovousy

V srpnu 2014 byl na tísňovou linku ohlášen požár střechy rodinného domu v obci Tlustovousy na Kolínsku. Operační a informační středisko HZS Středočeského kraje vyslalo na místo jednotky z I. stupně požárního poplachu. Průzkum na místě ukázal, že hoří podkroví a střecha rodinného dvojdomku s fotovoltaickými panely. Požár hasiči likvidovali pomocí několika C proudů a vysokotlaku, vzhledem k silnému větru vyhlásil velitel zásahu II. stupeň požárního poplachu. Požár zasáhl plochu přibližně 10 x 12 m, lokalizace trvala přibližně hodinu. Během rozebírání střešní konstrukce a dohašování byli na místo povoláni pracovníci TÚPO. Škoda byla stanovena na 1,6 milionu korun (Požáry.cz, 2014)



Obr. 34: Požár střechy Tlustovousy. Zdroj: Požáry.cz, 2014



Obr. 35: Dohašování střešní konstrukce. Zdroj: Požáry.cz, 2014

4.6.6 Požár střechy sportovní haly v Berouně

V říjnu 2012 shořela přibližně čtvrtina fotovoltaické elektrárny umístěné na střeše sportovní haly v Berouně. Elektrárna se skládala z trubcových fotovoltaických panelů. Při požáru byl vyhlášen II. stupeň požárního poplachu, k hašení bylo použito několik vodních proudů a proudů se střední pěnou, pěna byla pokládána jak z výškové techniky, tak z prostoru střechy. Požár doprovázely zvuky „výstřelu“ při praskání FV trubic. Při zásahu byl na místě přítomen odborník z Technického ústavu požární ochrany, specialista na elektro. Škoda způsobená požárem byla odhadnuta na 15 milionů korun. Při zásahu byl zraněn jeden dobrovolný hasič (Požáry.cz, 2012).



Obr. 36: Požár trubicových FV panelů. Zdroj: Požáry.cz, 2012



Obr. 37: Hašení střední pěnou. Zdroj: Požáry.cz, 2012

4.7 Dokumentace zdolávání požárů

Při požárech fotovoltaických elektráren na střechách rodinných domů představuje největší nebezpečí pro zasahující hasiče celková neznalost objektů a provedení elektroinstalace fotovoltaického systému. Podle vyhlášky č. 246/2001 Sb. jsou podmínky ohrožující život a zdraví zasahujících hasičů považovány za podmínky složité pro zásah. Při výskytu složitých podmínek pro zásah mají právnické a podnikající fyzické osoby povinnost zpracovávat dokumentaci zdolávání požárů.. Technologie fotovoltaických elektráren za určitých podmínek život ohrožující je a bylo by vhodné pro rodinné domy dokumentaci zdolávání požárů zpracovávat ve formě zjednodušené operativní karty, která by byla zaměřená na technologická zařízení fotovoltaického systému. Formu provedení operativní karty pro fotovoltaické elektrárny níže navrhu.

Dokumentace zdolávání požárů, která by byla určena pro rodinné domy s instalovanými fotovoltaickými elektrárnami můžeme oproti běžné DZP zjednodušit a zaměřit se na nebezpečí spojená s FVE. Dokumentace zdolávání požárů se zpracovává pro nejsložitější variantu požáru, ve většině případů je nejsložitější variantou rozsáhlý požár. V případě rodinných domů s FVE představuje nejsložitější variantu požáru požár ve druhé fázi. V této fázi požáru je zasaženo intenzivním hořením většina hořlavých materiálů a konstrukcí. Pro likvidaci takového požáru je již zapotřebí rozebírání konstrukcí a dohašování skrytých ohnisek, při těchto pracích hrozí úraz elektrickým proudem z ukrytých kabelů vedoucích stejnosměrný proud od fotovoltaických panelů. V operativní kartě tedy lze vynechat např. přehled vodních zdrojů, informace o příjezdových komunikacích a cestě na místo zásahu, výpočet sil a prostředků, výpis z poplachového plánu kraje. Navíc je potřeba uvést jak je FV systém provozován, popsat způsob ovládní a umístění vypínacích prvků, upozornění na nevypínatelnou část systému a popis jeho umístění, případně umístění akumulátorů, uvedení jejich typu a upozornění na nebezpečí s nimi souvisejícím, v případě hybridního systému se zálohováním uvést rozsah elektroinstalace pod stálým střídavým elektrickým proudem. V grafické části přehledně načrtnout trasu nevypínatelného vedení stejnosměrného proudu a v případě hybridního systému se zálohováním načrtnout schéma elektroinstalace pod stálým napětím. Pozn. tabulky DZP nejsou z důvodu rozsahu na A4 číslovány a pojmenovány, zdroj: vlastní výzkum.

Fotovoltaická elektrárna		Operativní karta
Objekt:	Rodinný dům	
Adresa:	Fotovoltaická elektrárna č. 1	
Spojení:		Textová část
Popis objektu:	<p>Jedná se o rodinný dům stojící na oploceném pozemku s jedním nadzemním podlažím a obytným podkrovím. FV panely jsou instalovány na jižní straně střechy z betonových tašek, ke střeše jsou ukotveny pomocí hliníkových profilů. Hlavní rozvaděč elektrické energie je umístěn vlevo od vchodových dveří.</p>	
Popis FVE:	<p>Na střeše je umístěno celkem 23 FV panelů o celkovém instalovaném výkonu 5,3 kW a jmenovitém napětí stringu 390 V. Kabeláž stejnosměrného proudu je svedena vnitřkem objektu do hlavního rozvaděče v prvním podlaží, kde je umístěn střídač. DC kabely jsou na půdě vedeny v elektroinstalačních trubkách, v obytné části jsou vedeny elektroinstalačními lištami. FVE je provozována v grid - on systému, tedy vyráběná elektřina je kromě vlastní spotřeby objektu dodávána i do veřejné distribuční sítě.</p>	
Popis vypnutí el. proudu:	<p>Hlavní vypínač elektrického proudu je umístěn ve sloupku oplocení vedle vstupní branky na pozemek. Při vypnutí hlavního vypínače přestane střídač dodávat elektrický proud. Hlavní vypínač je v provedení jističe. STEJNOSMĚRNÉ VEDENÍ OD PANELŮ AŽ DO HLAVNÍHO ROZVADĚČE V 1. NP NELZE ODPOJIT, NA TĚTO ČÁSTI ELEKTROINSTALACE JE STÁLE NEBEZPEČNÉ NAPĚTÍ!!!</p>	
Zásahové cesty:	<p>Zásah je možné provádět vnitřní zásahovou cestou nebo za pomoci výškové techniky. Ustavení výškové techniky je bez problému.</p>	
Doporučení pro velitele zásahu:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Při průzkumu najít kabeláž vedoucí stejnosměrný proud od FV panelů ke střídači. 2. Poučit zasahující o místech s možným výskytem nebezpečného napětí. 3. Při hašení v oblasti s výskytem DC kabeláže, používat přednostně jako hasivo CO₂, při hašení vodou se řídit dle Bojového řádu - Hašení vodou pod napětím. 4. Při rozebírání konstrukcí, dbát zvýšené opatrnosti na výskyt DC kabeláže pod napětím. Hrozí úraz elektrickým proudem a vytažení elektrického oblouku, případně k opětovné iniciaci požáru. 	

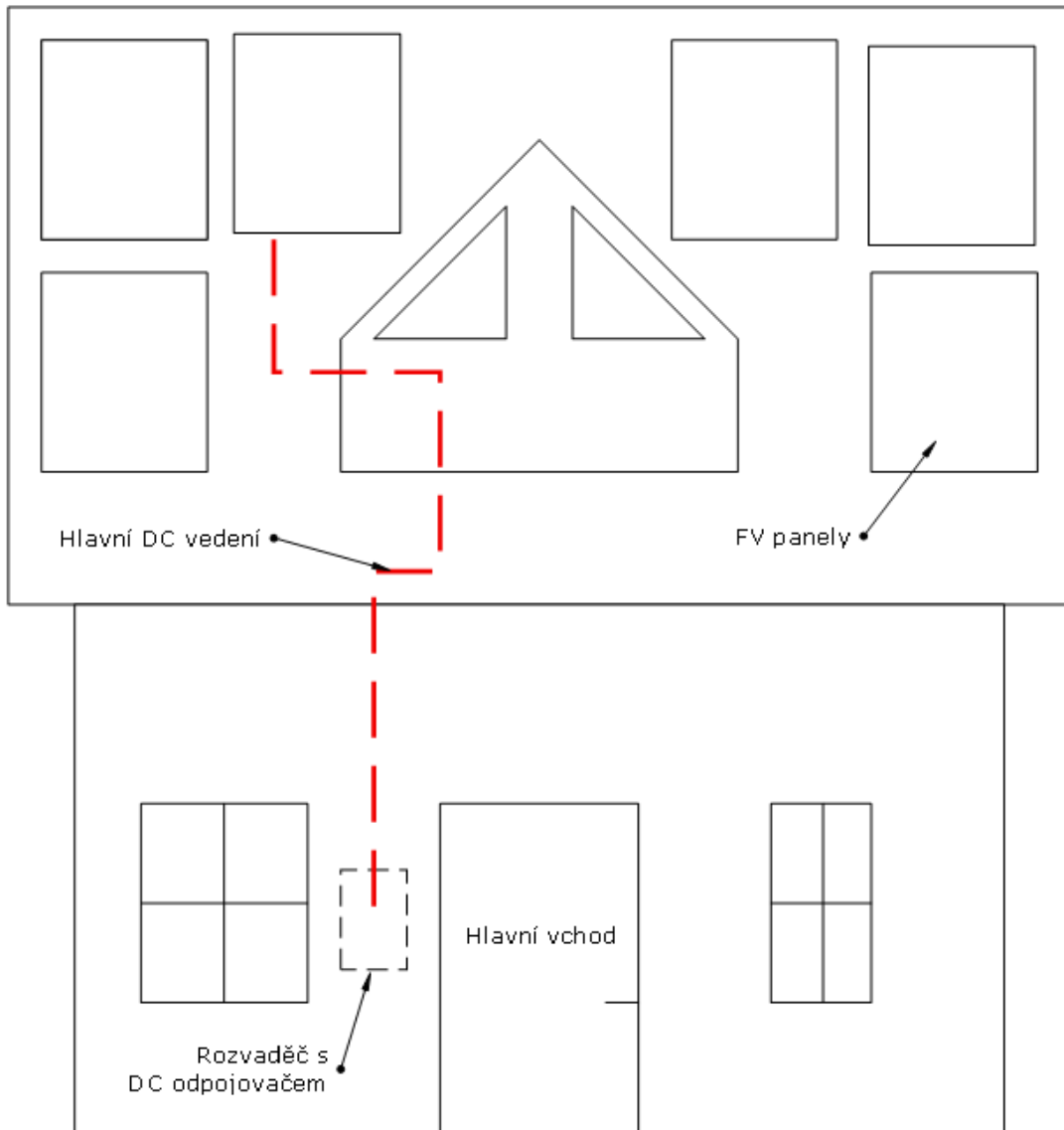
Fotovoltaická elektrárna

Objekt:	Rodinný dům
Adresa:	Fotovoltaická elektrárna č. 1
Spojení:	

Operativní karta

Grafická část

Schéma vedení kabelů se stejnosměrným napětím, které nelze odpojit od FV panelů.



Fotovoltaická elektrárna		Operativní karta
Objekt:	Rodinný dům	
Adresa:	Fotovoltaická elektrárna č. 2	
Spojení:		Textová část
Popis objektu:	Rodinný dům s FVE má dvě nadzemní podlaží a dvě garáže v suterénu, kde je také kotelna a další technické místnosti. Fotovoltaické panely jsou umístěny na jižní straně střechy z betonových tašek a ukotveny pomocí hliníkových profilů. Vstup do objektu je možný přes garáže, které ústí na místní pozemní komunikaci, hlavní vchod do objektu je přístupný přes pozemek okolo domu.	
Popis FVE:	Fotovoltaická elektrárna má na střeše umístěno 12 FV panelů o celkovém instalovaném výkonu 3,24 kWp a maximální napětí stringu 120 V. FV panely nejsou z místní komunikace vedoucí okolo objektu viditelné! Kabele vedoucí DC proud jsou vedeny nepoužívaným komínem do kotelny v suterénu. Celá technologie FVE je umístěna v racku (kontejneru) umístěného v kotelně. FVE funguje jako hybridní systém. V případě výpadku nebo vypnutí elektrické energie FVE stále dodává elektrický proud do pěti zásuvek 230 V ~ v suterénu, dodávka proudu probíhá při dostatku energie z FV panelů přímo, jinak z lithium – iontových baterií o kapacitě 6 kWh.	
Popis vypnutí el. proudu:	Hlavní vypínač elektrického proudu je umístěn v rozvaděči na fasádě domu, přístupný z místní komunikace. Při vypnutí hlavního vypínače nepřestane střídač dodávat elektrický proud do pěti zásuvek v suterénu! Hlavní vypínač FVE je umístěn v racku v kotelně. Vypnutím hlavního vypínače FVE dojde k odpojení pěti zálohovaných zásuvek (červený kryt) v suterénu, jinak stále pod napětím! STEJNOSMĚRNÉ VEDENÍ V KOTELNĚ NELZE ODPOJIT, NA TĚTO ČÁSTI ELEKTROINSTALACE JE STÁLE NAPĚTÍ!!!	
Zásahové cesty:	Zásah je možné provádět vnitřní zásahovou cestou nebo za pomoci výškové techniky. Ustavení výškové techniky je bez problému.	
Doporučení pro velitele zásahu:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Při průzkumu najít rack s technologií FVE a bateriemi, identifikovat zálohované zásuvky – červený kryt. 2. Poučít zasahující o místech s možným výskytem nebezpečného napětí. Vypnout rack s technologií FVE. 3. Při hašení v oblasti racku s technologií FVE, DC kabeláže a zálohovaných zásuvek používat přednostně jako hasivo CO₂, při hašení vodou se řídit dle Bojového řádu - Hašení vodou pod napětím. 4. V případě hořících akumulátorů použít střední pěnu. 5. Při pohybu na střeše brát v úvahu přítomnost FV panelů. 	

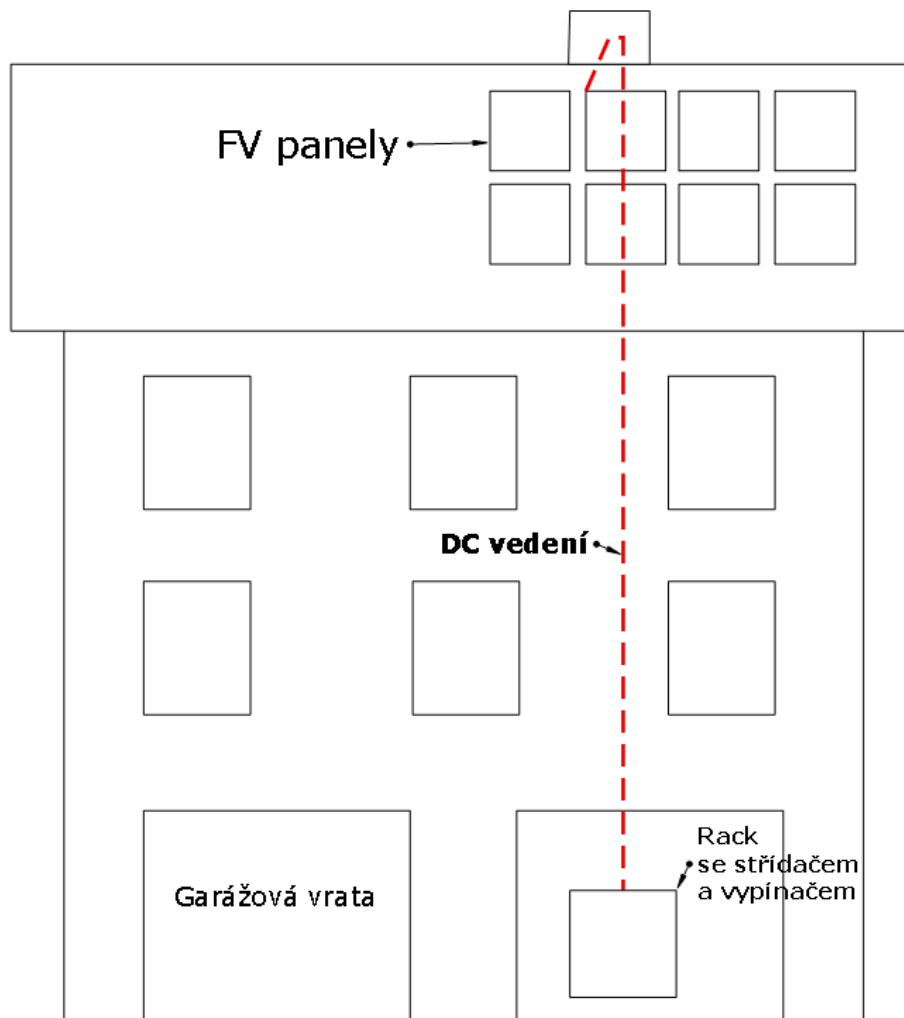
Fotovoltaická elektrárna

Objekt:	Rodinný dům
Adresa:	Fotovoltaická elektrárna č. 2
Spojení:	

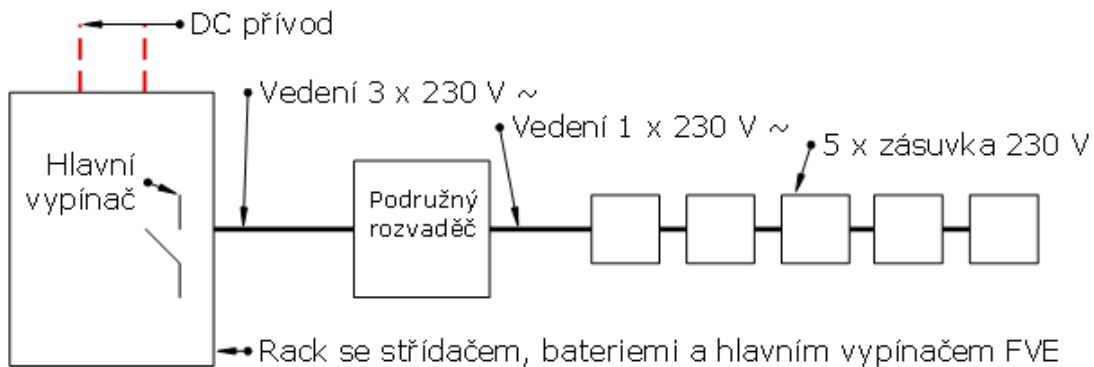
Operativní karta

Grafická část

Schéma vedení kabelů se stejnosměrným napětím, které nelze odpojit od FV panelů.



Blokové schéma zapojení zálohovaných zásuvek, zásuvky mají červený kryt.



Fotovoltaická elektrárna		Operativní karta
Objekt:	Hospodářská budova	
Adresa:	Fotovoltaická elektrárna č. 3	
Spojení:		Textová část
Popis objektu:	Přízemní hospodářská budova se sedlovou střechou z pálených tašek, na které je umístěna FVE. Objekt nyní slouží k uskladnění materiálu bez zvýšeného nebezpečí. Budova s FVE se nachází v uzavřeném dvoře statku, vlevo je obytný objekt, vpravo je zmiňovaná budova.	
Popis FVE:	Celkem je na střeše umístěno 41 FV panelů dvou typů, typově odlišné panely tvoří samostatnou FV elektrárnu – na střeše jsou instalované dvě na sobě nezávislé FVE. Celkový instalovaný výkon je 9,83 kWp, panely jsou zapojeny do pěti stringů, maximální napětí stringu je 300 V=. FVE je provozována v grid – on režimu, nespotřebovanou el. energii dodává do distribuční sítě. Vedení 3 x 400 V~ z FVE je vyvedeno do hlavního rozvaděče v obytném objektu, rozvaděč je na fasádě.	
Popis vypnutí el. proudu:	Hlavní vypínač elektrického proudu je v pilíři vjezdových vrat na pozemek statku. V případě vypnutí přívodu el. proudu přestanou střídače dodávat el. energii do rozvodu. Lze také vypnout pouze přívod elektřiny do hospodářského objektu s FVE, vypínač je v hlavním rozvaděči obytného objektu. STEJNOSMĚRNÉ VEDENÍ VEDOUČÍ POD STŘECHOU AŽ KE STŘÍDAČŮM NELZE ODPOJIT, NA TÉTO ČÁSTI ELEKTROINSTALACE JE STÁLE NEBEZPEČNÉ NAPĚTÍ!!!	
Zásahové cesty:	Zásah je možné provádět vnitřní zásahovou cestou nebo vně objektu. Pro přístup ke střídačům je nutný 3 m dlouhý žebřík. Ustavení výškové techniky je problematické z důvodu členitosti dvora a omezeného prostoru.	
Doporučení pro velitele zásahu:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Během zásahu se vyvarovat dotykům okapu a svodů – DC vedení vede v blízkosti žlabu. 2. Poučit zasahující o místech s možným výskytem nebezpečného napětí. 3. Při hašení střídačů použít přednostně jako hasivo CO₂. 4. Střecha má velký sklon – pozor na odpadávající FV panely. 	

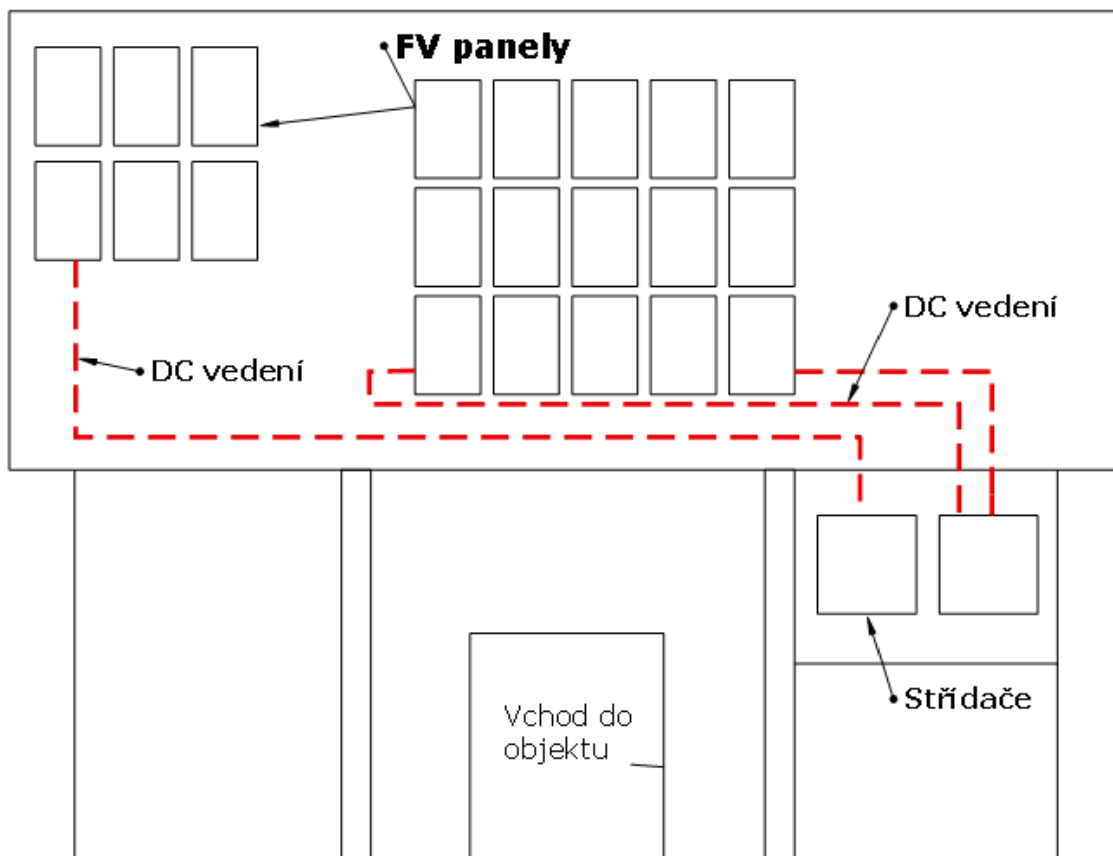
Fotovoltaická elektrárna

Objekt:	Hospodářská budova
Adresa:	Fotovoltaická elektrárna č. 3
Spojení:	

Operativní karta

Grafická část

Schéma vedení kabelů se stejnosměrným napětím, které nelze odpojit od FV panelů.



Fotovoltaická elektrárna		Operativní karta
Objekt:	Hospodářský objekt	
Adresa:	Fotovoltaická elektrárna č. 4	
Spojení:		Textová část
Popis objektu:	Hospodářská budova se sedlovou střechou z pálených tašek, na jejíž jižní straně je umístěna FVE. Objekt nyní slouží k uskladnění materiálu a v levé části budovy je dílna. Budova s FVE se nachází v uzavřeném dvoře statku, vpravo je obytný objekt, naproti vjezdu na pozemek je zmiňovaná budova.	
Popis FVE:	Na střeše je umístěno 96 monokrystalických FV panelů. Celkový instalovaný výkon je 17,28 kWp, panely jsou zapojeny do šesti stringů, jmenovité napětí stringu je 600 V=. Stejnoseměrné kabely jsou vedeny po hliníkové konstrukci. FVE je provozována v grid – on režimu, využívá dva střídače, nespotřebovanou el. energii dodává do distribuční sítě. Vyvedení výkonu ze střídačů je připojeno na elektroinstalace v objektu.	
Popis vypnutí el. proudu:	Hlavní vypínač elektrického proudu je umístěn v hlavním rozvaděči na fasádě obytného objektu. V případě vypnutí přívodu el. proudu přestanou střídače dodávat el. energii do rozvodu. Lze také vypnout pouze přívod elektřiny do hospodářského objektu s FVE, jistič je umístěn v hlavním rozvaděči. STEJNOSMĚRNÉ VEDENÍ VEDOUČÍ PO STŘEŠE AŽ KE STŘÍDAČŮM NELZE ODPOJIT, NA TĚTO ČÁSTI ELEKTROINSTALACE JE STÁLE NEBEZPEČNÉ NAPĚTÍ AŽ 600V!	
Zásahové cesty:	Zásah je možné provádět vnitřní zásahovou cestou nebo vně objektu. Budova je vnitřně rozdělena na dva celky. Ustavení výškové techniky je bez problému, ale vzhledem k uzavřenosti dvora bude problematické otáčení mobilní požární techniky.	
Doporučení pro velitele zásahu:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Během zásahu se řídit nákresem o umístění stejnosměrného vedení a vyvarovat se jeho dotyku jak hasiči, tak věcnými prostředky. 2. Poučit zasahující o místech s možným výskytem nebezpečného napětí. 3. Omezit pohyb po střeše – nebezpečí úrazu el. proudem a zřícení konstrukce 4. Při hašení střídačů použít přednostně jako hasivo CO₂. 5. Střecha má velký sklon – pozor na odpadávající FV panely. 	

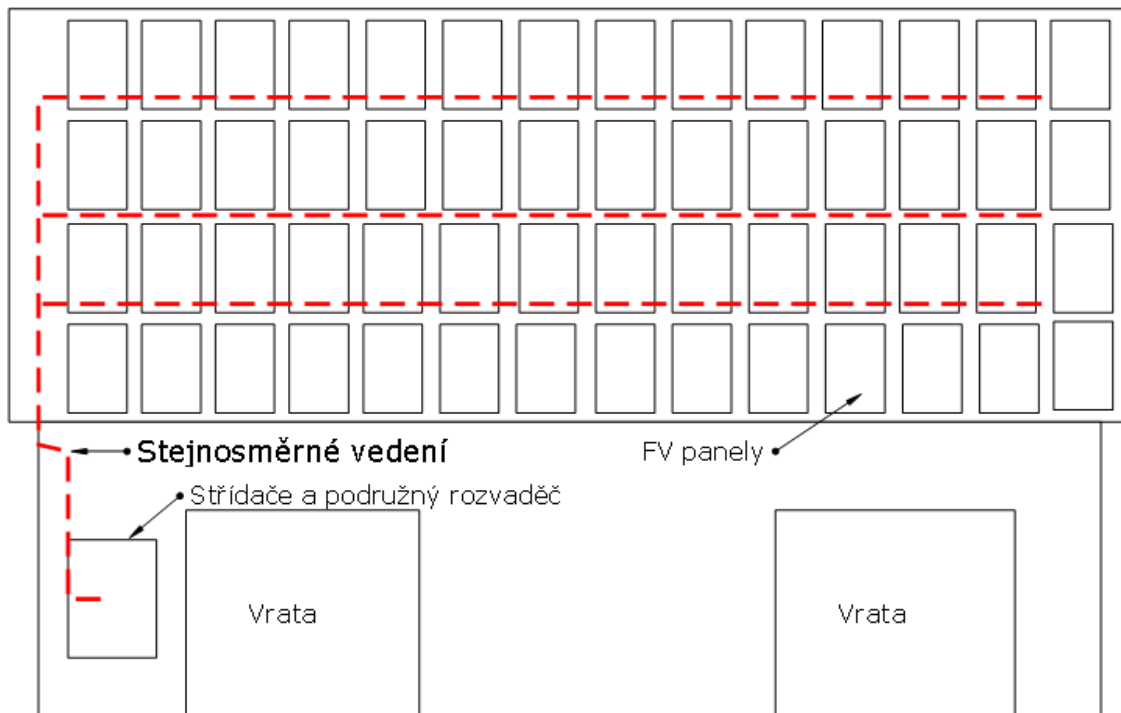
Fotovoltaická elektrárna

Objekt:	Hospodářská budova
Adresa:	Fotovoltaická elektrárna č. 4
Spojení:	

Operativní karta

Grafická část

Schéma vedení kabelů se stejnosměrným napětím, které nelze odpojit od FV panelů.



5 DISKUZE

Požáry fotovoltaických systémů představují již od dob svého rozvoje určitá rizika spojená ať už se zvýšenou pravděpodobností vzniku požáru nebo s nebezpečím úrazu elektrickým proudem při likvidaci požáru. S požáry FVE je spojeno mnoho předpisů, ale tyto předpisy nejsou nijak sjednoceny a jejich výklad je nejednotný. Nejednotnost je způsobena již při instalaci FVE, kdy se hledí spíše na místní podmínky, jednoduchost elektroinstalace a s tím související ekonomickou výhodnost instalace, než na možnost vzniku požáru a problémy spojené s jeho likvidací.

5.1 *Bojový řád jednotek požární ochrany*

Bojový řád jednotek požární ochrany obsahuje celkem tři metodické listy zabývající se požáry fotovoltaických systémů, jsou to: Požáry střešních konstrukcí s fotovoltaickým systémem, Požáry fotovoltaických elektráren (tento metodický list je určen pro elektrárny na volném prostranství) a Požáry střešních konstrukcí s trubicovým fotovoltaickým systémem. Zásah při požáru fotovoltaického systému na střeše budovy se však nemůže řídit pouze těmito metodickými listy, ale i dalšími, na které je odkazováno, jsou to metodické listy týkající se požárů budov a nejvíce doplňujícími jsou: Nebezpečí úrazu elektrickým proudem a Hašení vodou elektrických zařízení a vedení pod napětím do 400 V.

Metodický list 47/P Požáry střešních konstrukcí s fotovoltaickým systémem je zpracován obecně a pro hasiče bez elektrotechnického vzdělání mohou být některé pasáže nesrozumitelné. Obecnost zpracování je způsobena rozdílností provedení jednotlivých FVE a vždy záleží na mnoha faktorech ovlivňujících požární zásah. Dobře jsou zde zpracovány zásady bezpečného zásahu a upozornění na možné šíření stejnosměrného napětí po kovových konstrukcích. Naopak chybí uvedení hybridního provozu FVE a popis likvidace požáru. U FVE s akumulátory je zapotřebí vést hasební zásah s ohledem na možný výbuch akumulátorů, poleptání hasičů elektrolytem a dbát na ochranu životního prostředí. Dále je možné u hybridních provozů zálohování a dodávání elektrické energie do rozvodu objektu i v případě vypnutého hlavního vypínače. Rozsah zálohované elektroinstalace závisí na instalovaném výkonu akumulátorů.

Metodický list 14/N Nebezpečí úrazu elektrickým proudem v souvislosti s FV systémy nepopisuje účinky stejnosměrného proudu a stejnosměrným proudem se tento metodický list blíže nezabývá, i když je na tento metodický list odkazováno z metodického listu 47/P. V metodickém listu je chybně uvedena tabulka bezpečného napětí, která se používá při ochraně malým napětím SELV a PELV. Správně by měla být uvedena tabulka bezpečných dotykových napětí, která obsahuje stejné hodnoty napětí, ale rozdílné názvosloví. Obě bezpečná napětí definuje norma ČSN 33 2000-4-41 ed. 2. Podle tohoto metodického listu je místo zásahu hodnoceno jako zvlášť nebezpečný prostor a podle normy v těchto prostorech není bezpečné dotykové napětí. Při aplikování na požár FV systému je každý dotyk s živou částí nebezpečný. V případě zaplavení části technologie FV systému není nebezpečný jen dotyk se živou částí stejnosměrné elektroinstalace, ale ve vodě, která je v kontaktu se živou částí se projevuje krokové napětí. Tento metodický list na nebezpečí záplavy elektrických technologií a s ním spojená nebezpečí upozorňuje velmi okrajově. Pouze obecně se také věnuje problematice záložní zdrojů elektrické energie. Dříve se záložní zdroje ve většině případů používaly pro počítače a sloužily pouze k řádnému vypnutí počítače, nedosahovaly tedy velkých kapacit. S postupujícím vývojem akumulátorů se začalo skladování elektrické energie využívat i u fotovoltaických systémů, primární význam je uschování elektrické energie pro dobu, kdy FVE nevyrobí elektrickou energii. Akumulátory FV systémů dosahují velkých kapacit a jsou schopny dodávat elektrickou energii po dlouhou dobu a ve velkém výkonu. Tyto zdroje představují pro zasahující jednotky požární ochrany velké riziko úrazu elektrickým proudem i v případě vypnutí hlavního přívodu elektrické energie. Pro bezpečné vedení zásahu je zapotřebí dokumentace elektrárny.

Na metodický list Hašení vodou elektrických zařízení a vedení do 400 V je odkazováno v případě požáru FV systému, ale tento metodický list je pro aplikaci na FV systémy velmi nevhodný. Původní určení metodického listu 25/P bylo zřejmě pro hašení elektroinstalací budov s nízkým střídavým napětím. V elektroinstalacích budov je normami přesně dané maximální napětí, a to je bez odchylek 400 V. V případě požáru a nemožnosti vypnutí přívodu elektrické energie je možné říci, že v běžné elektroinstalaci se nenachází vyšší napětí než 400 V a je možné zahájit hašení pod napětím. Jednotky požární ochrany se v tomto případě řídí označeními na rozvaděčích a elektrických zařízeních. Stejnosměrné elektrorozvody fotovoltaických elektráren mají normou

určené maximální napětí 1000 V. Podle stejné metodiky užívané v případě střídavé elektroinstalace budov je nemožné jednotkami požární ochrany použít metodický list pro hašení vodou elektrických zařízení pod napětím. Většina malých fotovoltaických elektráren maximálního napětí 1000 V nedosahuje a používané stejnosměrné napětí se pohybuje podle zapojení okolo 300 – 500 V. V některých případech by tedy Bojový řád jednotek požární ochrany dovoľoval hašení pod napětím, ale bez dostupné dokumentace FVE není možné určit maximální napětí v rozvodech. Jednotky požární ochrany nemají ve výbavě měřicí přístroje pro zjištění maximálního napětí a toto měření by musela provádět osoba přezkoušená podle § 6 vyhlášky č. 50/1978 Sb. Při požáru FVE není bez dokumentace elektrárny možné uplatnit na hašení stejnosměrných rozvodů metodický list 25/P Hašení vodou elektrických vedení a zařízení pod napětím do 400 V.

Další metodické listy vztahující se k požárům budov, ale nesouvisející s FVE nejsou potřeba z hlediska požárů malých FVE nijak doplňovat, problematiku fotovoltaických systémů by měli obsáhnout metodické listy zaměřené na fotovoltaiku. Vzhledem k tomu, že problematika hybridních fotovoltaických systémů je velmi rozsáhlá a nároky na vedení efektivního a bezpečného zásahu jsou v tomto případě velké, bylo by vhodné vytvoření nového metodického listu. Nový metodický list by se zabýval problematikou zálohování pevné elektroinstalace v budovách, nebezpečími souvisejícími s instalací velkého množství akumulátorů, způsob likvidace požáru akumulátorů a ochrana životního prostředí.

5.2 Dokumentace zdolávání požárů

Jak bylo popsáno výše, pro efektivní a bezpečné likvidace požárů fotovoltaických elektráren na střeších budov je zapotřebí znát co nejvíce informací jak o samotném fotovoltaickém systému, tak o budově na které je FVE instalována a o tom jak je FVE připojena k elektroinstalaci. Podle normy ČSN 34 3085 ed. 2 by měla mít každá budova, na které je umístěna FVE, u vchodu umístěnou dokumentaci k FVE se schématem zapojení a popisem vypnutí FVE. Terénním šetřením na elektrárnách bylo zjištěno, že toto ustanovení normy není dodržováno ani u jedné ze čtyř navštívených FVE. Jednotky požární ochrany se tedy na místě musí spolehnout buď na informace získané od majitele FVE, v případě nepřítomnosti majitele jsou informace zjišťovány průzkumem. Nevýhodou umístění dokumentace FVE u vchodu do objektu s FVE je možnost zasažení dokumentace požárem nebo jiný důvod její nedostupnosti způsobený

mimořádnou událostí. Tento nedostatek řeší dokumentace zdolávání požárů, která je uložena u HZS kraje a dostupná pro jednotky požární ochrany.

Dokumentace zdolávání požárů velmi přispívá k zajištění bezpečnosti zasahujících hasičů a vedení efektivního zásahu. O povinnosti zpracovat dokumentaci zdolávání požárů rozhoduje státní požární dozor, který posuzuje, jestli jsou na místě instalace FVE složité podmínky pro zásah. Vzhledem k tomu, že většina FVE je instalována až po kolaudaci objektu, SPD se ke změně nevyjadřuje a mnohdy změna není nahlášena. Při projektování FVE by dle normy ČSN 73 0834 nemělo dojít ke snížení požární bezpečnosti objektu nebo ke ztížení zásahu jednotek požární ochrany. Výše popsané kazuistiky však poukazují na to, že instalací FVE na střechy budov vznikají složité podmínky pro zásah jednotek požární ochrany. Níže jsou popsány scénáře možných komplikací na navštívených FVE způsobených nedostatkem informací, které by se daly zjistit z dokumentace zdolávání požárů.

5.3 *Nebezpečí na navštívených fotovoltaických elektrárnách*

Nebezpečných provedení FVE je možné vymyslet spoustu, držíme se předpokladu, že i při budování FVE laikem budou dodrženy základní elektrotechnické normy a opatření pro zabránění úrazu elektrickým proudem. Řešení prevence vzniku požáru způsobeného fotovoltaickým systémem není předmětem této diplomové práce. Pro bezpečnost zasahujících hasičů představuje největší hrozbu vedení stejnosměrného proudu od FV panelů, se zvětšující se délkou tohoto vedení roste riziko úrazu elektrickým proudem. Největší hrozbu při likvidaci požáru FVE na střechách představuje požár ve druhé fázi hoření, kdy se již vyskytuje intenzivní hoření, ale fotovoltaický systém je stále plně funkční. V této části autor popíše možné komplikace při likvidaci požáru na navštívených FVE.

➤ Fotovoltaická elektrárna č. 1

V případě první FVE se jedná o rodinný dům, kde je stejnosměrný rozvod veden elektroinstalační lištou přes několik místností a následně nad sádrokartonovým stropem k FV panelům. Velké riziko úrazu elektrickým proudem je zde při rozebírání sádrokartonového stropu a krovu střechy. Stejnosměrný rozvod v domě není nijak označen a bez DZP ho není možné nijak identifikovat. Nosná konstrukce FV panelů uzemněna přes hromosvod, v případě uzemnění jednoho pólu stejnosměrného rozvodu

se izolovaná soustava stejnosměrné části FVE stává účinně uzemněnou a k úrazu elektrickým proudem stačí dotyk živé části jednoho pólu. Průchod elektrického proudu tělem je potom stejný jako v případě úrazu střídavým elektrickým proudem.

➤ **Fotovoltaická elektrárna č. 2**

Druhá FVE je nejkomplicovanější ze všech navštívených. Fotovoltaické panely nejsou z příjezdové cesty vidět a lze je spatřit až z velké vzdálenosti od budovy, situace tedy může být vyhodnocena jako by se jednalo o dům bez FVE. Stejnosměrné vedení elektrického proudu je zde vedeno vnitřkem komínu a nebezpečí úrazu elektrickým proudem hrozí pouze na malé části rozvodu. Mnohem větší riziko představuje rack se střídačem a akumulátory umístěný v suterénu domu. Tato část technologie není označena jako elektrické zařízení a na první pohled vypadá např. jako lednice. Vypnutí střídače zde neprobíhá jako u grid – on provozu automaticky vypnutím přívodu elektrické energie do objektu, ale manuálně vypínačem umístěným v racku. V bateriích se může uložit až 6 kWh elektrické energie a bez manuálního vypnutí střídače je stále vyráběn střídavý elektrický proud. V případě požáru lithium - iontové akumulátory hrozí výbuchem a zvyšují intenzitu hoření. Při hašení akumulátorů vodou hrozí únik nebezpečných látek do životního prostředí. Další nebezpečí pro zasahující hasiče jsou zálohované zásuvky, které jsou pod napětím i v případě vypnutí hlavního přívodu elektrické energie. Na toto nebezpečí není nikde v objektu poukázáno.

V případě FVE č. 2 je zpracování dokumentace zdolávání požárů zcela na místě. Prvním faktorem je absence veškerých výstrah a upozornění na výskyt elektrických zařízení, nedostupná dokumentace k FVE, ze které by velitel zásahu zjistil, že maximální napětí FVE je 120 V a na hašení požáru mohl nasadit vodu. Dále se zde vyskytují akumulátory se střídačem generujícím stále nebezpečné napětí, což ohrožuje zasahující hasiče jak z pohledu nebezpečí úrazu elektrickým proudem, tak nebezpečím výbuchu akumulátorů. Při požáru celé technologie FVE je zde nutno provádět hasební zásah dvěma rozdílnými hasivy – pěnu aplikovat na hořící akumulátory a vodou hasit elektrické přístroje pod napětím. Bez dokumentace zdolávání požárů není možné v případě požáru na této FVE vést efektivní a bezpečný zásah.

➤ **Fotovoltaická elektrárna č. 3 a 4**

Tyto dvě fotovoltaické elektrárny mají společné umístění, a to na střechách hospodářských budov náležejících k obytným budovám. Instalace FVE na hospodářské budovy byla zvolena z důvodu lepší orientace střechy. Vzhledem k umístění FVE na hospodářských budovách je kabeláž provedena co nejjednodušeji, je tedy tažena po nosné konstrukci FV panelů, okolo okapů apod., hrozí zde výskyt elektrického potenciálu na kovových částech budovy. Na FVE č. 4 chybí upozornění na zpětný proud a elektrická zařízení. Pro zvládnutí likvidace požáru na těchto dvou FVE by postačoval Bojový řád jednotek požární ochrany a dokumentace zdolávání požárů není na těchto instalacích nutná.

5.4 Fotovoltaické elektrárny při povodních

Fotovoltaická elektrárna nepředstavuje pro jednotky požární ochrany nebezpečí pouze při požárech, ale také při jiných mimořádných událostech jako jsou například povodně. Všechny navštívené FVE jsou mimo zátopová území a u těchto FVE zatopení vodou nehrozí. Tři ze čtyř FVE měli umístěné střídače max. 1,5 m nad okolním terénem a v případě instalace FVE v zátopovém území je možnost zaplavení stejnosměrné části FV systému. U elektráren provozovaných jako grid – on je nebezpečná pouze stejnosměrná část technologie, protože vypnutím přívodu střídavého elektrického proudu se střídače vypnou. Elektrárny provozované jako hybridní tuto vlastnost samočinného odpojení nemají a do objektu, případně do distribuční sítě stále dodávají střídavý elektrický proud. Hybridní systémy mohou být nebezpečné i v případě nezaplavení technologie FVE.

Stejnosemnné části FVE, které mohou být zaplaveny, představují vysoké riziko úrazu elektrickým proudem, a to nejen přímým dotykem živých částí, ale i krokovým napětím ve vodě. Krokové napětí ve vodě bylo prokázáno výzkumy provedenými v Plzeňském kraji a v Německu. Nebezpečí v takovém případě nehrozí pouze členům jednotek požární ochrany provádějícím záchranné práce, ale i obyvatelům v blízkosti zatopené FVE. Při ponoření obou pólů stejnosměrného vedení do vody začne obvodem protékat proud a ve vodě začne probíhat elektrolýza s únikem plynného vodíku, což může vést i k výbuchu. U hybridních systémů je problematika mnohem složitější, zde se může ve vodě vyskytovat potenciál jak stejnosměrného, tak střídavého napětí. V případě zaplavení zálohované elektroinstalace střídavého napětí je prakticky nemožná detekce přítomnosti tohoto napětí ve vodě. V takovém případě není nebezpečný pouze dotyk živé

části nebo krokové napětí, ale vzhledem k tomu, že osoba v danou dobu bude na potenciálu, je nebezpečný i dotyk uzemněné části, např. hromosvodu. Norma ČSN 34 3085 ed. 2 při záplavách určuje vypnutí hlavních přívodů elektrické do zatopeného prostoru, ale se zpětným proudem již norma nepočítá.

5.5 Návrh na zajištění větší bezpečnosti zasahujících hasičů

Pro zlepšení bezpečnosti hasičů u požárů fotovoltaických elektráren je zapotřebí několik opatření. Prvním opatřením je zásah do vnitřních předpisů jednotek požární ochrany, konkrétně úprava Bojového řádu jednotek požární ochrany. Největší úpravu pro možné aplikování na požáry FVE je zapotřebí provést u metodického listu 25/P Hašení vodou elektrických zařízení a vedení pod napětím do 400 V. Jak již bylo zmíněno výše, hlavní nevýhodou je omezení maximálního napětí, které je shodné s normovaným napětím používaným v běžných elektroinstalacích budov. Výhodné by bylo rozšíření možnosti hasit elektrická zařízení spadající do kategorie nízkého napětí, tedy do 1000 V střídavých a 1500 V stejnosměrných. Odpadla by pak nutnost znalosti stejnosměrného napětí, protože všechny FVE spadají do kategorie nízkého napětí. Metodický list by se mohl upravit podle německé normy DIN VDE 0132 – Hasicí technika a hašení v oblasti elektrických instalací. V této normě jsou určeny postupy pro hašení elektrických zařízení pod napětí do 1000 V střídavých a 1500 V stejnosměrných.

Další výrazný posun v oblasti bezpečnosti by jistě bylo vytvoření nového metodického listu zaměřeného na požáry lithium – iontových akumulátorů. Lithium – iontové akumulátory jsou hořlavé a při zahřátí dochází k jejich samovznícení. Při hoření dochází k vývoji kouře, který obsahuje toxické a leptavé látky. Únik elektrolytu je nebezpečný pro zasahující hasiče a také pro životní prostředí. Problematické je též hašení hořících akumulátorů. Ideální hasivo je kvůli zamezení samovznícení střední pěna, akumulátory však mají neustále na svých vývodech napětí i několik stovek voltů a na hašení pod napětím se pěna z důvodu vyšší vodivosti nehodí. Kvůli určení vhodného hasiva a postupu na hořící lithium – iontové akumulátory bude nutný další výzkum. Nový metodický list by tedy měl obsahovat přehled nejpoužívanějších typů akumulátorů, specifická rizika vzhledem k typu akumulátoru, doporučení odvětrávání, hasební postup a ochrana životního prostředí.

Zajištění bezpečnosti při požáru lze dosáhnout i technickým opatřením přímo na FVE. První možností je instalace teplocitlivých odpojovačů zapojených na vývodech z FV

polí, tím by bylo zajištěno odpojení stejnosměrného vedení od FV pole ke střídači. Na některých FVE je již toto zařízení instalováno. Nevýhodou těchto zařízení je problematická signalizace odpojení a jejich vysoká cena. Dalším posunem k zajištění bezpečnosti je instalace požárně odolných kabelů podle normy ČSN 73 0895. Tyto kabely by se instalovaly na stejnosměrné vedení a jejich požární odolnost by musela být minimálně 30 minut, lépe však 45 minut. Nevýhodou tohoto opatření je však také vyšší cena kabelů. Technickým opatřením může být i snížení maximálního napětí na bezpečnou mez, tedy na 120 V DC. Problémem je zde označení metodickým listem 14/N místa zásahu jako zvlášť nebezpečný prostor a bezpečné dotykové napětí zde není. Toto opatření by tedy muselo být ještě podrobena dalšímu měření a výzkumu.

Organizační opatření se také podílejí na zvýšení bezpečnosti u zásahu. V případě FVE je možné v oblasti organizační provádět pravidelné aktualizace používaných technologií, prohlídky elektráren státním požárním dozorem, zpracováním dokumentací zdolávání požárů, pravidelným školením členů jednotek požární ochrany. Při školení členů jednotek požární ochrany na téma fotovoltaických elektráren by bylo vhodné zařadit i některá pravidla z oblasti elektrotechniky s mírnou úpravou pro hasiče. Jedno z pravidel je např. elektrikářské patero: vypni, zajisti, odzkoušej, uzemni a zkratuj, odděl živé a neživé části.

ZÁVĚR

Problematikou bezpečnosti u požárů fotovoltaických systémů se nezabývají hasiči pouze v České republice, ale v celé Evropě a Severní Americe. Vlivem dotování obnovitelných zdrojů elektrické energie dochází k velkému nárůstu počtu instalovaných fotovoltaických elektráren, čímž se zvyšuje i pravděpodobnost požáru těchto systémů. Úprava právních předpisů, norem a vnitřních předpisů jednotek požární ochrany nereaguje na změny v oblasti fotovoltaiky dostatečně pružně, a proto vznikají nejednotná provedení fotovoltaických elektráren nebo jsou postupy pro bezpečné a efektivní vedení zásahu zastaralá a nefunkční.

Cílem této diplomové práce bylo zjištění, zda Bojový řád jednotek požární ochrany odpovídá bezpečným postupům při zásahu u požáru fotovoltaické elektrárny. Bojový řád jednotek požární ochrany je soubor jednotlivých metodických listů zabývajících se konkrétními situacemi. Při požáru FVE na střeše budovy se spojuje více faktorů dohromady a pro likvidaci takového požáru je zapotřebí použití více metodických listů. Nejdůležitější jsou metodické listy týkající se fotovoltaiky a elektrického proudu. Metodický list 47/P Požáry střešních konstrukcí s fotovoltaickým systémem je při správném použití a porozumění jeho obsahu z hlediska bezpečnosti zpracován správně, ale jeho použití je z praktického hlediska účinného zásahu v některých situacích problematické. Hašení vodou elektrických zařízení a vedení pod napětím do 400 V podle metodického listu 25/P je také z hlediska bezpečnosti v pořádku, ale aplikace v něm uvedených postupů je na požár fotovoltaické elektrárny nereálný. Upozornění na nebezpečí úrazu elektrickým proudem je v Bojovém řádu zpracováno dobře, jen se málo věnuje účinkům a chování stejnosměrného proudu. Bezpečnostní riziko představují akumulátory hybridních FVE. Na bezpečný postup při požárech těchto akumulátorů není zpracována žádná metodika. Bojový řád jednotek požární ochrany odpovídá při požáru FVE bezpečným postupům, ale při jejich dodržování se efektivní vedení zásahu stává problematickým. Dokumentace zdolávání požárů by jistě v mnoha případech požáru FVE našla své uplatnění, pomohla k rychlým likvidacím požárů a snížila škody způsobené požárem.

Fotovoltaické elektrárny jsou při povodních a zaplavení stejnosměrných rozvodů nebezpečné nejen pro záchranné složky, ale také pro obyvatele domů s instalovanými FVE na jejich střeších. Nebezpečí úrazu elektrickým proudem může pro obyvatele

hrozit už při pouhém kontaktu s vodou. Toto nebezpečí nevyřeší úprava Bojového řádu jednotek požární ochrany, ale je nutná úprava předpisů pro instalaci FVE. Konkrétně by byla zapotřebí úprava České státní normy ČSN 33 2000-7-712 Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech – Solární fotovoltaické napájecí systémy. V případě výskytu objektu s FVE v záplavovém území by byla povinnost umisťovat stejnosměrné rozvody tak, aby v případě povodně tyto nebyly zatopeny. Při nesplnění by nebyla udělena revize elektrického zařízení pro bezpečný provoz.

Problematikou úrazu elektrickým proudem se odborná literatura zabývá hlavně úrazy způsobenými střídavým elektrickým proudem, je to způsobeno jeho rozsáhlým využitím a jeho účinky jsou již při malých proudech smrtelné. Stejnosměrný proud však také způsobuje smrtelná zranění a hodnota smrtelného proudu začíná přibližně o 100 mA výše než u proudu střídavého. Odborná literatura se nemůže shodnout, kde je hranice nebezpečného proudu, Česká technická norma uvádí hodnotu 120 mA, německá literatura uvádí 150 mA a v anglické literatuře se dočteme o hranici 240 mA. Hodnota stejnosměrného proudu způsobujícího patofyziologické účinky je také určena odolností jedince, cestou průchodu proudu tělem a prostředím, ve kterém je člověk proudem zasažen. Z hlediska prevence je určitě správně, že se Česká technická norma drží hodnot na spodní hranici.

Fotovoltaické elektrárny jsou a budou i nadále součástí běžného života a jsou snahy dále navyšovat jejich instalovaný výkon. Optimistické odhady předpokládají podíl fotovoltaických elektráren na celkové výrobě elektrické energie až 25 %. Tohoto podílu je možné dosáhnout pouze za pomoci akumulace energie z FVE. Vzhledem k rostoucímu instalovanému výkonu fotovoltaických zdrojů je zapotřebí řešit i jejich chování a bezpečnost v případě mimořádných událostí.

SEZNAM LITERATURY

1. BACKSTROM, Robert a David DINI. *Firefighter Safety and Photovoltaic Installations Research Project*. 2011, 147.
2. BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL, BUNDESVERBAND SOLARWIRTSCHAFT E.V, DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR SONNENENERGIE E.V a DEUTSCHER FEUERWEHRVERBAND E.V. *Einsatz an stationären Lithium-Solarstromspeichern, Hinweise für die Brandbekämpfung und technische Hilfeleistung*. 2014.
3. *Brandbekämpfung im Bereich elektrischer Anlagen: DIN VDE 0132*. Deutsches Institut für Normung e. V., 2001.
4. Český normalizační institut, 2007. ČSN 33 2000-4-41: Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti - Ochrana před úrazem elektrickým proudem. Praha: Český normalizační institut.
5. FALTUS, Ivo. *Příručka elektrotechnika - Jisticí přístroje II*, firemní materiály OEZ. Letohrad: OEZ, 2012, s. 64 a 70.
6. FILIP, Roman. *Požární rizika fotovoltaických panelů na střechách*. Praha, 2013. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
7. *Fotovoltaika* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: http://www.vetrna-energie.cz/energie-zivlu/fotovoltaika_11
8. Fotovoltaické elektrárny. Solární elektrárny SunnyWatt [online]. 2015 [cit. 2017-08-28]. Dostupné z: <http://www.solarnielektrarny.cz/energetika/fotovoltaicke-elektrarny>
9. *GALAXIE 500 - kombinovaná proudnice* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.vyzbrojna.cz/cz/901/2929/galaxie-500-kombinovana-proudnice.html>
10. FEHRENBACHER, Katie. *How Solyndra's Solar Tubes Rocked Clean Power in 2009* [online]. 29.12.2009 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://inhabitat.com/how-solyndras-solar-tubes-rocked-clean-power-in-2009/>
11. HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.

12. HNILICA, Pavel. *Jaké akumulátory (trakční baterie) budeme potřebovat pro solární ostrovní systém*[online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z:
<https://www.deramax.cz/7-jake-akumulatory-pouzit-7-dil-ze-serialu-clanku>
13. HOLUB, Petr. *Požár fotovoltaické elektrárny na budově zaměstnal hasiče v Bašce* [online]. 2016 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z:
<http://www.hzscr.cz/clanek/pozar-fotovoltaicke-elektrarny-na-budove-zamestnal-hasice-v-basce-okr-fm.aspx>
14. HOŠEK, Zdeněk. Požární bezpečnost fotovoltaických systémů. *Časopis Elektro*. 2011, 4/2011, 3 s.
15. JAKOUBKOVÁ, Pavla. *Požár střechy v Plzni způsobil škodu za několik milionů, hasiči uchránili vedlejší objekt* [online]. 2016 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.pozary.cz/clanek/146621-pozar-strechy-v-plzni-zpusobil-skodu-za-nekolik-milionu-hasici-uchranili-vedlejsi-objekt/>
16. JÍROVÝ, Josef, Martin POUR, Libor POSPÍŠIL a Tomáš MOTYČKA. *V obci Zákolany hořel objekt bývalého cukrovaru, ve III. stupni zasahovalo 143 hasičů* [online]. 2016 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z:
<https://www.pozary.cz/clanek/60272-14-11-2012-v-obci-zakolany-horel-objekt-byvaleho-cukrovaru-ve-iii-stupni-zasahovalo-143-hasicu/>
17. KOCANDA, Tomáš. *Odpínání a jištění DC rozvodů fotovoltaických elektráren* [online]. 2013 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z:
<http://www.solartechnika.sk/solartechnika-22010/odpinani-a-jisteni-dc-rozvodu-fotovoltaickych-elektren.html>
18. KOPAČKA, Josef. *Požár fotovoltaické elektrárny a řešení požárního zásahu v Plzeňském kraji*. Ostrava, 2012. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství.
19. KOPP, Václav. *Užití termografie v diagnostice fotovoltaických systémů*. Plzeň, 2013. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická.
20. KREJCÁREK, David. Požár fotovoltaické elektrárny umístěné na střeše skladovací haly. *112*. 2013, **XII.**(2/2013), 2 s.
21. MV – GRHZS ČR. 2017a. Bojový řád jednotek požární ochrany – Metodický list č. 14/N – Nebezpečí úrazu elektrickým proudem. Praha. Česká republika

22. MV – GŘ HZS ČR. 2017b. Bojový řád jednotek požární ochrany – Metodický list č. 3/N – Nebezpečí intoxikace. Praha. Česká republika
23. MV – GŘ HZS ČR. 2017c. Bojový řád jednotek požární ochrany – Metodický list č. 6/N – Nebezpečí pádu. Praha. Česká republika
24. MV – GŘ HZS ČR. 2017d. Bojový řád jednotek požární ochrany – Metodický list č. 18/N – Nebezpečí zřícení konstrukcí. Praha. Česká republika
25. MV – GŘ HZS ČR. 2017e. Bojový řád jednotek požární ochrany – Metodický list č. 1/P – Zdolávání požáru. Praha. Česká republika
26. MV – GŘ HZS ČR. 2017f. Bojový řád jednotek požární ochrany – Metodický list č. 13/P – Hašení požáru v podkroví a v půdním prostoru. Praha. Česká republika
27. MV – GŘ HZS ČR. 2017g. Bojový řád jednotek požární ochrany – Metodický list č. 15/P – Požáry střešních konstrukcí. Praha. Česká republika
28. MV – GŘ HZS ČR. 2017h. Bojový řád jednotek požární ochrany – Metodický list č. 25/P – Hašení vodou elektrických zařízení a vedení pod napětím do 400 V. Praha. Česká republika
29. MV – GŘ HZS ČR. 2017ch. Bojový řád jednotek požární ochrany – Metodický list č. 47/P – Požáry střešních konstrukcí s fotovoltaickým systémem. Praha. Česká republika
30. MV – GŘ HZS ČR. 2017i. Bojový řád jednotek požární ochrany – Metodický list č. 49/P – Požáry střešních konstrukcí s trubicovým fotovoltaickým systémem. Praha. Česká republika
31. Nařízení vlády č. 118/2016 Sb. *Nařízení vlády o posuzování shody elektrických zařízení určených pro používání v určitých mezích napětí při jejich dodávání na trh.* [online]. Zákony pro lidi. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-118>
32. POULEK, Vladislav a Martin LIBRA. *Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů.* Časopis Elektro. 2010, **3/2010**, 4 s.
33. POŽÁRY.CZ. V berounské sportovní hale hořela vzduchotechnika a střecha, na místě zasahovalo několik jednotek hasičů. *Pozary.cz* [online]. 2012 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.pozary.cz/clanek/59359-video-v-berounske-sportovni-hale-horela-vzduchotechnika-a-strecha-na-miste-zasahovalo-nekolik-jednotek-hasicu/>

34. POŽÁRY.CZ. V Tlustovousech hořela střecha rodinného domu s fotovoltaikou, při požáru byl vyhlášen druhý stupeň požárního poplachu. *Pozary.cz* [online]. 2014 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.pozary.cz/clanek/92542-v-tlustovousech-horela-strecha-rodinneho-domu-s-fotovoltaikou-pri-pozaru-byly-vyhlasen-druhy-stupen-pozarniho-poplachu/>
35. *Problémy fotovoltaických projektů z hlediska energetického auditu* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/5073-problemy-fotovoltackych-projektu-z-hlediska-energetickeho-auditu>
36. PRUME, Klaus a Jochen VIEHWEG. *Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung*. Köln, 2015.
37. *Přístroje pro fotovoltaiku*. FV1-2012-C, firemní materiály OEZ. OEZ, 2012 [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/file/649>
38. *Roční zpráva o provozu ES ČR* [online]. 2016, 37s. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2016.pdf/800e5a09-a58a-4a73-913f-abc30cda42a5
39. SKUPINA ČEZ. *Fotovoltaický jev* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/f8.htm>
40. SKUPINA ČEZ. *Solární články* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
41. SOŠ A VOŠ PO FRÝDEK - MÍSTEK. *Fotovoltaika v PO*. Frýdek - Místek, 2012.
42. *Strahlrohre für die Brandbekämpfung - Teil 3: Strahlrohre mit Vollstrahl und/oder einem unveränderlichen: DIN EN 15182-3*. Deutsches Institut für Normung e. V., 2010.
43. STRAKA, Michal. *Typový projekt elektroinstalace pro rodinný dům využívající fotovoltaický systém*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
44. THOMICZEK, Adam a Martin TRČKA. Fotovoltaické elektrárny z pohledu bojového řádu jednotek požární ochrany. *Spektrum*. 2013, **13**.(1/2013), 4. ISSN 1211-6920.

45. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016. ČSN EN 61140 ed. 3: Ochrana před úrazem elektrickým proudem – Společná hlediska pro instalaci a zařízení. Praha.
46. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. ČSN IEC 60479-1: Účinky proudu na člověka a domácí zvířectvo - Část 1: Obecná hlediska. Praha.
47. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. ČSN 34 3085 ed. 2: Elektrická zařízení - Ustanovení pro zacházení s elektrickým zařízením při požárech nebo záplavách. Praha.
48. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006. ČSN 33 2000-7-712: Elektrické instalace nízkého napětí - Část 7-712: Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech - Fotovoltaické (PV) systémy. Praha.
49. Vyhláška č. 23/2008 Sb. 2008. *Vyhláška o technických podmínkách požární ochrany staveb*. [online]. Zákony pro lidi.[cit. 2018-04-24]. Dostupné z: www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-23
50. Vyhláška č. 246/2001 Sb. 2001. *Vyhláška Ministerstva vnitra o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci*. [online]. Zákony pro lidi. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-246
51. VYKYDAL, Libor. *SOLYNDRA - Nová generace fotovoltaických panelů pro ploché střechy* [online]. 5.8.2010 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://tvstav.cz/clanek/624-solyndra-nova-generace-fotovoltaickych-panelu-pro-ploche-strechy>
52. *Vysokotlaká proudnice* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.jetex.cz/sortiment/proudnice-klince-prechody-spojky-vicka/proudnice/proudnice-vysokotlaka-awg>
53. Zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně [online]. Zákony pro lidi. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: www.zakonyprolidi.cz/cs/1985-133

SEZNAM PŘÍLOH A OBRÁZKŮ

Obr. 1: Tvorba prostorového náboje v polovodiči.....	12
Obr. 2: Princip funkce fotovoltaického článku.....	13
Obr. 3: Monokrystalický článek.....	14
Obr. 4: Polykrystalický článek.....	14
Obr. 5: Tenkovrstvý článek.....	15
Obr. 6: Náčrt fotovoltaického panelu.....	16
Obr. 7: Trubicový fotovoltaický panel.....	17
Obr. 8: Válcová pojistka a odpojovač pro válcové pojistky.....	19
Obr. 9: Schéma jištění fotovoltaického zdroje.....	20
Obr. 10: Schéma propojení fotovoltaického zdroje a distribuční soustavy.....	21
Obr. 11: Možné stavy provozu grid – on FVE.....	23
Obr. 12: Schéma provozu v ostrovním provozu.....	24
Obr. 13: Schéma hybridního provozu FVE.....	25
Obr. 14: Výpočet proudu lidským tělem.....	32
Obr. 15: FVE na rodinném domě.....	49
Obr. 16: DC odpojovače v rozvaděči.....	49
Obr. 17: Rack se střídačem a bateriemi.....	51
Obr. 18: Celkový pohled.....	51
Obr. 19: Technologické vybavení FVE.....	53
Obr. 20: Celkový pohled na FVE.....	53
Obr. 21: Pohled na FVE.....	54
Obr. 22: Střídače FVE.....	55

Obr. 23: Graf teploty.....	57
Obr. 24: Graf průběhu napětí na výstupu FVE.....	58
Obr. 25: Schéma měření svodových proudů.....	60
Obr. 26: Kombinovaná proudnice.....	63
Obr. 27: Vysokotlaká proudnice.....	64
Obr. 28: Označení proudnice AWG Turbospritz 2130 C pro hašení elektrických zařízení.....	65
Obr. 29: Graf průběhu napětí v závislosti na čase.....	66
Obr. 30: Požár střechy v Plzni.....	68
Obr. 31: Střecha s FV panely zasažená požárem.....	69
Obr. 32: Hořící střecha s FV panely.....	70
Obr. 33: Hašení FV panelů.....	70
Obr. 34: Požár střechy Tlustovousy.....	71
Obr. 35: Dohašování střešní konstrukce.....	72
Obr. 36: Požár trubkových FV panelů.....	73
Obr. 37: Hašení střední pěnou.....	73

SEZNAM ZKRATEK

AC – střídavé napětí

AP – automobilová plošina

AZ – automobilový žebřík

CO₂ – oxid uhličitý

CYKY – typ a označení kabelu

ČSN – Česká technická norma

ČSN EN – převzatá Evropská norma

ČSN IEC – převzatá mezinárodní elektrotechnická norma

DC – stejnosměrné napětí

DIN – německá národní norma

DZP – dokumentace zdolávání požárů

ES ČR – elektrizační soustava České republiky

FV – fotovoltaika

FVE – fotovoltaická elektrárna

GŘ HZS ČR – Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky

HZS – Hasičský záchranný sbor

IEC – mezinárodní elektrotechnická komise

IT – izolovaná elektrizační soustava

JPO – jednotka požární ochrany

JSDHO – jednotka sboru dobrovolných hasičů obce

LED – elektroluminiscenční dioda

NN – nízké napětí

PELV – ochrana malým napětím, kryty účinně uzemněny

PO – požární ochrana

PVC – polyvinylchlorid

SELV – ochrana malým napětím, kryty neuzemněny

SPD – státní požární dozor

TN – C – elektrizační soustava účinně uzemněná, sloučena funkce středního a ochranného vodiče

TN – S – elektrizační soustava účinně uzemněná, střední a ochranný vodič odděleně

TUV – teplá užitková voda

TÚPO – Technický ústav požární ochrany

UV – ultrafialové záření

VN – vysoké napětí

VVN – velmi vysoké napětí

ZVN – zvlášť vysoké napětí