

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta stavební**

**Katedra konstrukcí pozemních staveb**

**POŽÁRNÍ RIZIKA FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN NA  
OBÁLCE BUDOVOY  
FIRE RISKS OF PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS ON THE  
BUILDING ENVELOPE**

**Diplomová práce**

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Integrovaná bezpečnost staveb

Vedoucí práce: Ing. arch. Petr Hejtmánek

**Bc. Martin Dvořák**

---

**Praha 2019**



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Dvořák Jméno: Martin Osobní číslo: 424447  
Zadávací katedra: K124 - Katedra konstrukcí pozemních staveb  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Integrovaná bezpečnost staveb

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Požární rizika fotovoltaických elektráren an obálce budovy

Název diplomové práce anglicky: Fire Risks of Photovoltaic Power Plants on the Building Envelope

Pokyny pro vypracování:

- princip FVE, identifikace požárních rizik FVE na obálce budovy
- literární rešerše požadavků na FVE (ČR, zahraničí)
- určení požárněbezpečného prostoru od FVE pomocí CFD simulace
- koncepční návrh podmínek pro umístování FVE systému (panely a příslušenství) na obálce budovy

Seznam doporučené literatury:

- normy řady ČSN 73 08xx,
- zahraniční odborné články,
- příručka FDS a další podpůrná literatura,
- SEPANSKI, Annett, Florian REIL, Willi VAAßEN, Eckart JANKNECHT, Uwe HUPACH, Nicolas BOGDANSKI, Bettina VAN HEECKEREN, Heribert SCHMIDT, Georg BOPP, Hermann LAUKAMP, Robin GRAB, Severin PHILIPP, Horst THIEM, Josef HUBER, Ralf HASELHUHN, Heinrich HÄBERLIN, Andreas KRUTZKE, Benedikt NEU, Armin RICHTER, Björn BANSEMER a Michael HALFMANN. Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung. März 2015

Jméno vedoucího diplomové práce: Petr Hejtmánek

Datum zadání diplomové práce: 1. 10. 2018 Termín odevzdání diplomové práce: 6. 1. 2019

*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

# SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Martin Dvořák

Název diplomové práce: Požární rizika fotovoltaických elektráren an obálce budovy

Základní část: KPS podíl: 100 %

Formulace úkolů: viz zadání DP

---

---

---

---

Podpis vedoucího DP: ..... Datum: .....

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů: .....

---

---

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

3. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů: .....

---

---

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

4. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů: .....

---

---

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

---

Poznámka: Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci (vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1.stranou zadání již ve 2.týdnu semestru)

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a všechny použité prameny a literatura jsou uvedeny v seznamu citované literatury.

Nemám námitek proti použití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne .....

.....

podpis

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce Ing. arch. Petru Hejtmánkovi za možné konzultace a spolupráci při požární zkoušce a dále Solární asociaci za poskytnutí FV panelu pro požární zkoušku.

---

# Obsah

<b>Abstrakt</b>	<b>III</b>
<b>Abstract</b>	<b>III</b>
<b>Seznam použitých symbolů a zkratek</b>	<b>IV</b>
<b>1 Úvod</b>	<b>5</b>
<b>2 Princip FVE</b>	<b>6</b>
2.1 Funkce FVE	6
2.2 Druhy fotovoltaických článků	7
2.2.1 Krystalické křemíkové články	7
2.2.2 Tenkovrstvé články	8
2.2.3 Nanostrukturované anorganické a organické FV články	10
2.3 Hlavní komponenty běžných FVE	10
2.4 Fotovoltaické systémy	12
<b>3 Příklady proběhnuvších požárů FVE v ČR</b>	<b>14</b>
3.1 Požár FVE na střeše skladovací haly Kunice	14
3.1.1 Příčina vzniku požáru	14
3.1.2 Protipožární zásah	15
3.1.3 Realizovaná opatření	17
3.2 Požár FVE na střeše sportovní haly v Berouně	17
3.2.1 Příčina vzniku požáru	17
3.2.2 Protipožární zásah	17
<b>4 Problematika FV systémů z hlediska požáru</b>	<b>19</b>
4.1 Identifikace rizik	19
4.2 Nebezpečí vzniku požáru	21
4.3 Nebezpečí šíření požáru	21
4.4 Nebezpečí a rizika při protipožárním zásahu FVE	22
<b>5 Legislativa České republiky pro fotovoltaické systémy</b>	<b>24</b>
5.1 Zásady protipožárního zabezpečení střešních instalací FVE a opatření požární prevence ..	24
5.2 Zákon o hospodaření s energií	25
5.3 Stavební legislativa fotovoltaických systémů	25
5.4 Zákon o požární ochraně	26
5.5 Vyhláška o požární prevenci	26
5.6 Metodické listy	27
5.6.1 Metodický list 25 P - Hašení vodou elektrických zařízení a vedení pod napětím do 400 V .	28
5.6.2 Metodický list 47 P – Požáry střešních konstrukcí s fotovoltaickým systémem	29
5.6.3 Metodický list 48 P – Požáry fotovoltaických elektráren	29
5.7 Normy a předpisy	30
<b>6 Zahraniční legislativa</b>	<b>32</b>
6.1 Obecné informace	32

---

6.2	Požadavky na požární bezpečnost a požární ochranu.....	32
6.2.1	Předpisy a normy .....	34
6.3	Ochrana zasahujících jednotek požární ochrany .....	35
6.3.1	Přehled plánu pro záchranné složky .....	35
6.3.2	Plánování požární ochrany fotovoltaických systémů na střeše budovy .....	37
6.3.3	Zařízení a vedení s napětím do 1000 V .....	39
<b>7</b>	<b>Požární zkouška FV panelu .....</b>	<b>41</b>
7.1	Motivace pro požární zkoušku.....	41
7.2	Podklady a inspirace – zkouška TÜV Rheinland .....	41
7.2.1	Postup experimentu .....	42
7.2.2	Výsledky .....	43
7.3	Požární zkouška UCEEB.....	44
7.3.1	Požární laboratoř.....	44
7.3.2	Příprava a průběh požární zkoušky.....	45
7.3.3	Výsledky .....	47
<b>8</b>	<b>Odstupové vzdálenosti od FV panelů.....</b>	<b>51</b>
8.1	CFD model požární zkoušky panelu C-Si v TÜV Rheinland.....	51
8.2	Celkový CFD model požární zkoušky UCEEB.....	53
8.3	Zpřesněný CFD model požární zkoušky UCEEB .....	54
8.4	Porovnání odstupových vzdáleností .....	58
<b>9</b>	<b>Shrnutí a závěr .....</b>	<b>60</b>
	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>63</b>
	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>65</b>
	<b>Literatura .....</b>	<b>66</b>

---

## Abstrakt

Předmětem této diplomové práce je analýza rizik fotovoltaických elektráren na obálce budov z hlediska požáru zaměřená na umístění fotovoltaické elektrárny na střeše. Pro pochopení problematiky, je třeba se nejdříve seznámit se samotným principem fungování fotovoltaických elektráren a příslušných zařízení, která následně mohou vzbuzovat riziko potencionálního požáru. V rámci ukázky požární bezpečnosti fotovoltaických elektráren byla provedena požární zkouška fotovoltaického panelu a následně byly vybrány dva reálné příklady požárů těchto zařízení na území ČR. Problémy při protipožárních zásazích, chybějící legislativa a tím konzervativní řešení odstupových vzdáleností vedly k myšlence zabývat se problematikou odstupovou vzdáleností od fotovoltaického panelu.

### Klíčová slova

Fotovoltaika; požární bezpečnost fotovoltaických elektráren; fotovoltaický panel; požární riziko; rychlost uvolňování tepla

## Abstract

The topics of my seminar work is the analysis of fire risks of photovoltaic power plant on the envelope of the buildings focused on the location of the photovoltaic power plant on the roof. To understand this issue, it is important to familiarize with the principle of photovoltaic power stations and relevant equipment functioning, which could subsequently cause the potential fire risk. For the presentation of fire safety of photovoltaic power station, a photovoltaic panel fire test was performed and subsequently selected I chose two real examples of the fire in these stations in the Czech Republic. Problems with fire interventions, lack of legislation, and thus a conservative solution separation distance have led to the idea of deal with issues separation distance from the photovoltaic panel.

### Keywords

Photovoltaics; fire safety of photovoltaic power plants; photovoltaic panel; fire risk; rate of heat release



---

## Seznam použitých symbolů a zkratk

### Latinské symboly

HRR	Rychlost uvolňování tepla	kW
HRR <sub>max</sub>	Maximální rychlost uvolňování tepla	kW

### Zkratky

FVE	Fotovoltaická elektrárna
FV	Fotovoltaika, fotovoltaický
Wp	Watt peak, jednotka špičkového výkonu FV panelu
DC	Stejnoseměrný proud
AC	Střídavý proud
PNP	Požárně nebezpečný prostor
ERÚ	Energetický regulační ústav
NSK	Národní soustava kvalifikací
TZB	Technická zařízení budovy
SZ	Stavební zákon
FDS	Fire Dynamics Simulator (software)
CFD	Computational fluid dynamics
MBO	Řád vzorových staveb, z německého Musterbauordnung
LBO	Stavební předpisy spolkových zemí, z německého Landesbauordnung
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise
CENELEC	Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice
BIPV	Integrované fotovoltaické moduly

---

# 1 Úvod

V současnosti se poměrně často setkáváme s pojmy spojenými s obnovitelnými zdroji energie. Jedním z pojmů je právě fotovoltaika (FV) a fotovoltaická elektrárna (FVE).

V minulosti byl pojem fotovoltaická elektrárna spíše vzácností, kde lze hovořit o jednotkách či desítkách instalací. Později došlo, vlivem snížení pořizovacích nákladů a celkově větší dostupností fotovoltaických panelů v kombinaci se znatelnou podporou státu, ke zvýšení instalací jak malých FVE umístěných na rodinných domech, tak velkých FVE v podobě velkoplošných instalací na střechách průmyslových objektů či na zelených loukách. Dnes se s FVE můžeme setkat především na stavbách pro bydlení v podobě rodinných domů (RD) nebo stavbách občanské vybavenosti či průmyslových objektech. V případě instalace malé FVE v podobě jednotek až desítek panelů umístěných na střechách či fasádách budov stojí za upozornění, že lze získat příspěvek formou dotace Nová zelená úsporám na instalaci FVE. Lze tedy předpokládat, že instalace FVE na výše zmíněných budovách bude častější, ať už formou dodatečné montáže nebo v rámci novostavby.

Ve spojení s tímto faktem je třeba se zaměřit na FVE z hlediska požární bezpečnosti. Instalace FVE na obálku budovy nese v sobě rizika vzniku či šíření požáru. Existuje několik případů, které by mohly vést k požáru zapříčiněné FVE. V minulosti jsme se mohli setkat s několika mimořádnými situacemi, kdy například chybná instalace FVE na budově zapříčinila vznik požáru, což s sebou nese značné riziko, jako je například úraz elektrickým proudem při protipožárním zásahu, jelikož část elektrického obvodu nelze od dodávky elektřiny odpojit. V případě požáru FVE může dojít na šíření požáru nejen na ostatní FV panely, ale i na samotnou konstrukci objektu či jiné okolní budovy. Z tohoto důvodu se tato diplomová práce zabývá požárními riziky FVE na obálce budov se zaměřením instalací na střechách.

Diplomová práce pojednává o principu fungování FVE a příslušných komponent tvořící FV systém s návazností na problematiku požárních rizik FVE. Pro možné inspirování se je vytvořena literární rešerše české a zahraniční literatury. Hlavním cílem práce je požární zkouška FV panelu k získání hodnot pro jednoduchý CFD model hořící panelu, od kterého se následně určí odstupové vzdálenosti a porovnávají se se současně uvažovanými odstupovými vzdálenostmi. Následně se z hlediska odstupových vzdáleností navrhuje pravidla pro umístování FV panelů na střechách budov.

## 2 Princip FVE

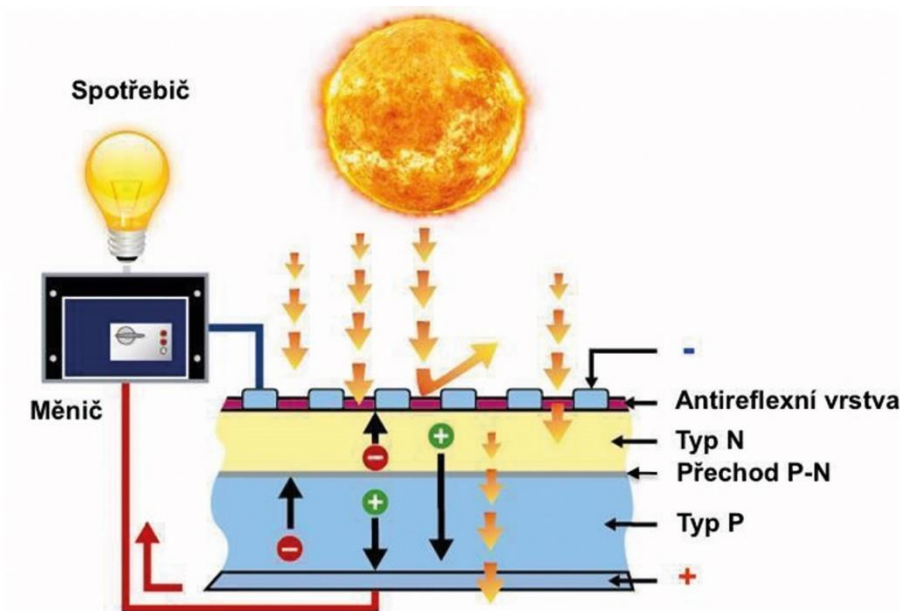
Cílené využití sluneční energie se v dnešní moderní a ekologicky smýšlející době těší velké oblibě. Sluneční záření dopadající na povrch naší planety je nositelem obrovského množství energie. Proč tedy tuto energii nevyužít a nepřeměnit ji například na energii elektrickou? Základ této myšlenky byl položen již v roce 1887, kdy byl poprvé popsán tzv. fotovoltaický jev. Jedná se o jev, při kterém dochází k emisi elektronů z látky, na kterou dopadá elektromagnetické záření, v tomto případě solární radiace [1].

### 2.1 Funkce FVE

Hlavním prvkem FVE jsou ozařované fotovoltaické panely, jejichž primární funkční jednotkou jsou fotovoltaické články. Tyto články jsou v podstatě velkoplošné polovodičové diody (viz Obr. 1). Jejich základem jsou zpravidla tenké křemíkové destičky s vodivostí typu P a N (P – anoda, N – katoda). Rozhraní vrstev P a N tvoří tzv. přechod P-N, který propouští proud pouze jedním směrem. Přechod P-N tvoří bariéru zabraňující volnému přechodu elektronů z vrstvy N do vrstvy P, a není tedy možné, aby došlo k rekombinaci (P-N přechod je zapojen v závěrečném směru). Po dopadu slunečního záření na povrch článku nastává v polovodiči vnitřní fotoelektrický jev, při kterém se z krystalové mřížky polovodiče uvolní záporné elektrony. Elektrony se pak hromadí na vrstvě N, přičemž mezi vrstvami N a P vzniká elektrický potenciál (u křemíkových článků typického rozměru 10 x 10 cm přibližně napětí 0,5 V a proud až 3 A). Lze tedy konstatovat, že se energie dopadajícího záření částečně mění na energii elektrickou. Reálná účinnost běžně používaných fotovoltaických článků se pohybuje okolo 15 %. Účinnost článku je taktéž závislá na intenzitě dopadajícího slunečního záření. Zatímco s rostoucí intenzitou dopadajícího světla elektrický výkon fotovoltaického článku roste, s jeho rostoucí teplotou naopak jeho výkon klesá (při zvýšení teploty o 10 °C poklesne výkon o 4 % a při zvýšení teploty o 25 °C výkon klesá až o 10 %). Z těchto informací vyplývá, že nejvyššího výkonu dosahují FVE na přelomu zimy a jara, kdy jsou FV panely chladné vlivem zimních teplot a sluneční záření dopadá pod větším úhlem a s vyšší intenzitou.

Jak již bylo uvedeno, jeden fotovoltaický článek typicky vygeneruje napětí o hodnotě přibližně 0,5 V, což je pro běžné využití poněkud málo. Pro dosažení většího provozního napětí se jednotlivé články spojují do série (popřípadě se využívá sério-paralelního zapojení) a sestavují se z nich samotné fotovoltaické panely. Jmenovité napětí fotovoltaického panelu je dáno sumou elementárního potenciálu jednotlivých článků. Po sériovém zapojení více článků jsme schopni

získat provozní napětí 12 V, 24 V nebo 48 V, což jsou již hodnoty použitelné pro různé typy fotovoltaických aplikací. [1, 7]



Obr. 1 Zjednodušený princip funkce fotovoltaického článku [1]

## 2.2 Druhy fotovoltaických článků

Vzhledem k tomu, že fotovoltaických článků je celá řada, bylo by neefektivní je ve spojení s požárními riziky zde všechny popisovat. Pro účely této práce je popsáno členění FV článků do základních skupin, z nichž jsou pak následně vybrány tři typy článků a sice CSI, CIS a CdTe, které byly v rámci požárních zkoušek v Německém institutu použity pro stanovení požárně technických charakteristik. [13]

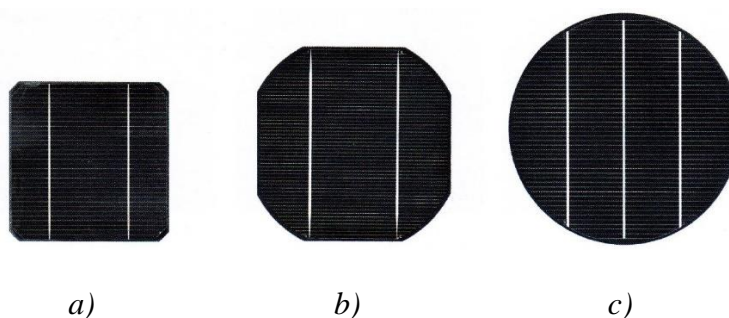
### 2.2.1 Krystalické křemíkové články

Stále dominující FV články, které jsou jako plátky o tloušťce cca 200 mikrometrů navzájem spájeny do modulu. Nejdůležitějším materiálem pro krystalické články je křemík, který je jakožto druhý nejčastější prvek na Zemi dostupný téměř neomezeně. Není přítomen v čisté formě, nýbrž pouze jako chemická sloučenina s kyslíkem ve formě křemene nebo písku. Nejdříve se musí odloučit nežádoucí kyslík z oxidu křemičitého. K tomu se křemenný písek zahřívá společně s uhelným prachem, koksem a dřevěným uhlím v obloukové peci na 1800 až 1900 °C. Přitom vzniká oxid uhelnatý a takzvaný metalurgický křemík s čistotou přibližně 98 %. 2% nečistota v křemíku je však pro použití v elektronice ještě příliš mnoho. Přípustné jsou pouze miliardtiny procent pro FV průmysl, a ještě desetkrát méně pro polovodičový průmysl. Surový křemík se proto ještě dál čistí chemickými procesy. Namele se na jemno a reaguje s plyným chlorovodíkem

na vodík a trichlorsilan, kapalinou, která vaří při 31 °C. V několika po sobě následujících stupních se destiluje tak dlouho, dokud podíl nečistoty neklesne pod požadovanou hodnotu. V dosavadním průmyslovém standardu chemickým odloučením plynného skupenství z trichlorsilanu a vodíku takzvanou Siemensovou metodou se získává nejčistší křemík. Oba plyny jsou přitom vháněny do reaktoru, ve kterém se nacházejí tenké tyče z velmi čistého křemíku o teplotě 1000 až 1200 °C. Z trichlorsilanu se na tyče vylučuje křemík. Takto vzniklý křemík je polykrystalický a označuje se jako polykřemík a má stupeň čistoty 8 až 11 N. Jednotka N označuje počet devítek, je-li tedy uváděn v procentech, je stupeň čistoty minimálně 99,999999 %. Tyče narostlé na průměr 10 až 15 cm se nalámou na zlomky a slouží jako výchozí materiál pro monokrystalické nebo multikrystalické křemíkové plátky s ještě vyšším stupněm, které se dále zpracovávají na FV články. [2]

### Monokrystalické křemíkové články

Tyto články mají tvar podle toho, kolik monokrystalu se odřízne. Vznikají kulaté, pseudočtvercové nebo čtvercové články (Obr. 2) s homogenní strukturou o tloušťce 0,14 až 0,3 mm. Kulaté články jsou levnější než pseudočtvercové nebo čtvercové, protože při jejich výrobě vzniká méně prořezu. Přesto se ve standardních modulech kvůli svému špatnému plošnému využití téměř nepoužívají. Ve speciálních modulech pro integraci do budov, u nichž je požadována částečná průhlednost, nebo pro domácí FV systémy však představují kulaté články určitou alternativu. Rozměry hranatých monokrystalických článků jsou 10 x 10 cm; 12,5 x 12,5 cm nebo 15 x 15 cm. Rozměry kulatých monokrystalických článků 12,5 cm nebo 15 cm. Účinnost článků se pohybuje v rozmezí 15-19,3 % (Czochralský křemík).



Obr. 2 a) Čtvercový monokrystalický článek; b) Pseudočtvercový monokrystalický článek; c) Kulatý monokrystalický článek [2]

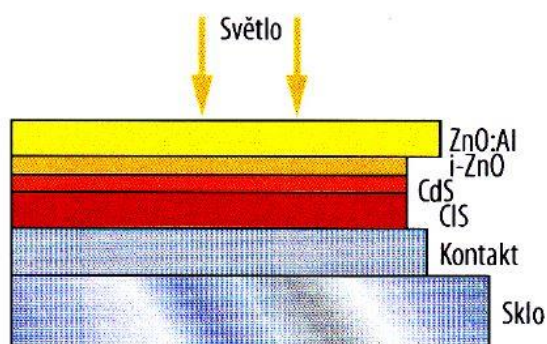
### 2.2.2 Tenkovrstvé články

Při technologii výroby těchto článků se nanáší fotoaktivní polovodiče a kontakty jako tenké vrstvy na nosný materiál (ve většině případů sklo) většinou pomocí fyzikálního odloučení plynného

skupenství nebo chemického odloučení plynného skupenství. Jako polovodičový materiál se používá amorfní křemík (ASi), diselenid mědi a india (CIS) a teluricitan kademnatý (CdTe). Jelikož tyto materiály mají vysokou absorpci světla, jsou tloušťky vrstev menší než 0,001 mm. Ve srovnání s výrobní teplotou 1500 °C krystalických křemíkových článků jsou zde pro odloučení potřeba teploty 200 až 600 °C. Nízká spotřeba materiálu, energie a možnost vysokého stupně automatizace výroby s velkým výkonem nabízí výrazný potenciál úspor oproti technologii s krystalickým křemíkem. [2]

### Články z diselenidu mědi a india (CIS)

Jak už název napovídá, aktivní polovodičový materiál článků CIS je diselenid mědi a india. Často je sloučenina CIS navíc legována galiem, takže vznikají FV články CIGS. Pro výrobu článků se nejdříve pomocí katodového rozprašování potáhne nosné sklo tenkou molybdenovou vrstvou pro vytvoření zadního kontaktu. Absorpční vrstva CIS s vodivostí typu N se dá vyrobit odpařením prvků mědi, indium a selen ve vakuové komoře při teplotách 500 až 600 °C. Jinou možností je, že se jednotlivé prvky napráší jako jednotlivé vrstvy při pokojové teplotě a pak spojí krátkodobým zahřátím na 500 °C na CIS. Tyto FV články nepodléhají stejně jako amorfní křemík stárnutí indukovaným světlem. Kvůli citlivosti vrstvy oxidu zinečnatého na vlhko je potřeba dbát na dobré uzavření povrchu. Mezi všemi tenkovrstevními technologiemi mohou CIS moduly v současné době vykazovat nejvyšší účinnost. Vlivem rovnoměrného nanášení na větší plochy však přináší různé problémy, a proto bylo ve výrobě CIS modulů dosaženo účinnosti maximálně 14,5 %. Struktura vrstev článků CIS je patrná z Obr. 3. [2]

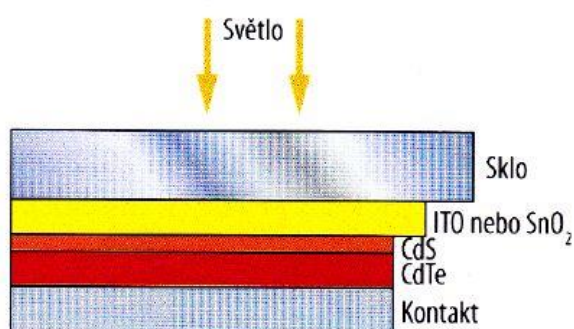


Obr. 3 Struktura vrstev článků CIS [2]

### Články s teluricitanem kademnatým (CdTe)

Výroba FV článků CdTe se provádí na nosné sklo, které se při výrobě povrství průhlednou vodivou TCO vrstvou, většinou cínem dotovaným oxidem india (ITO), jako kontakt na přední straně.

Přitom se nanese co nejtenčí vrstva CdS s vodivostí typu N a pak absorpční CdTe s vodivostí typu P. Polovodičové vrstvy se vyrábí jednoduchým odpařováním s malými požadavky na použité vakuum. Odpařovací zdroj se zahřeje na přibližně 600 °C. O něco chladnější nosné sklo s teplotou 500 °C se přidrží v těsné vzdálenosti nad ním a potáhne se polovodičovým materiálem. Po odloučení se CdS a CdTe vrstva aktivuje temperováním v atmosféře s obsahem chlóru při teplotě 400 °C na dvojitou CdS/CdTe vrstvu a rekrystalizuje se. Procesem naprašování se pak nanese kovový zadní kontakt. Technologie CdTe vyžaduje nejnižší náklady mezi dnešními tenkovrstvými moduly. Výhodou také může být to, že CdTe je jako sloučenina nejedovatý a velmi stabilní. Dále z hlediska ekologie a zdravotních rizik se není třeba obávat ani v případě požáru, protože těžký kov je uzavřen ve skle, které se taví podstatně dřív. Účinnost jednoho CdTe modulu se pohybuje v rozmezí 7-13,5 %. [2]



Obr. 4 Struktura vrstev článku CdTe [2]

### 2.2.3 Nanostrukturované anorganické a organické FV články

U těchto typů jsou vytvořeny kompletní FV články s nanometrovou velikostí a ty jsou pak propojeny do jednotlivých modulů. Vlivem stále se vyvíjející různé nanotechnologie po celém světě se dá předpokládat, že tyto články budou v budoucnu stále více přicházet na trh. Organické FV články se dají rozdělit na barvívem senzitivované články a plastové články. U nanostrukturovaných FV článků s anorganickými materiály se používají klasické materiály FV článků jako je křemík a CIS. [2]

## 2.3 Hlavní komponenty běžných FVE

Pokud se budeme bavit o hlavních komponentech, je třeba si tyto jednotlivé komponenty nejdříve ve zkratce představit. Jedná se o:

- FV panely,
- měnič či střídač, který mění generovaný stejnosměrný proud na proud střídavý,

- A-box, spojovací rozvody panelů tvořící jednu sekci (např. 8 panelů na jeden A-box),
- S-box, propojující všechny sekce panelů, resp. všechny A-boxy (hlavní sběrač),
- kabelové rozvody,
- rozvaděč elektrické energie daného objektu,
- volitelný komponent v podobě akumulátoru. [7]

Fotovoltaické elektrárny nejsou z pohledu komplikovanosti a množství komponentů příliš složitou aplikací. Podstatu systému tvoří vhodně umístěné **FV panely**, které jsou podle potřeby pospojovány. Panely jsou zpravidla opatřeny ochranným hliníkovým nebo duralovým rámem a kryty speciálním temperovaným sklem. Tato opatření chrání panely před povětrnostními vlivy a mechanickým namáháním. Ze zadní strany jsou panely chráněny dalším materiálem, například laminátovou deskou. Může se jednat například o materiál na bázi tedlaru, což je směs polyvinylidenfluoridu (PVF) a polyetylén-tereftalátu (PET). Mezi horní a spodní krycí vrstvou panelů bývá dále použit výplňový materiál, který přímo přiléhá k samotným FV článkům. Tento materiál reprezentuje například průsvitná plastová folie EVA (etylvinylacetát).

Stejnoseměrný proud (DC) generovaný FV panely je rozváděn **kabelovými rozvody**, vhodně doplněnými o jistící prvky, proudové chrániče atd. Kabely stejnosměrné části vedou elektrickou energii od přípojníc FV panelů dále do systému. Tyto kabely jsou vystaveny venkovnímu prostředí, musí tedy vykazovat potřebnou odolnost vůči klimatickým vlivům, teplotním rozdílům (-40 °C až 70 °C), UV záření a mechanickému namáhání.

Systém FVE se navrhuje na jednotlivé sekce FV panelů. Sekci tvoří panely, které jsou vzájemně propojeny v **A-boxu**. Důležité je, aby navrhovaný A-box měl dostatečné vnitřní rozměry, kde se nachází svorky propojující kabelové rozvody od jednotlivých panelů tvořících jednu sekci.

FV panely jsou zdrojem stejnosměrného proudu, což poukazuje na nutnost zařazení komponentu nazývaného **měníč** či **střídač** nebo se můžeme setkat s názvem **S-box**. Měníč slouží k přeměně stejnosměrného proudu na proud střídavý o požadované frekvenci, která je použitelná v cílových zařízeních připojených do elektrického obvodu. Střídavý proud vystupující z měniče je dále veden kabeláží do rozvaděče či elektrické stanice.

Volitelným komponentem FV systémů jsou **akumulátory**, které slouží k uchování vyprodukované elektrické energie. Pro tyto účely jsou běžně využívány olověné baterie s kapalným či gelovým elektrolytem. Výjimkou ovšem nejsou ani modernější typy akumulátorů na bázi lithia. Mezi běžně používanými lithiovými akumulátory lze zařadit lithium iontové (Li-ion) a lithium-železo-fosfátové akumulátory (LiFePO<sub>4</sub>) [1, 7].



## 2.4 Fotovoltaické systémy

FVE mohou pracovat na různých systémech distribuce a využití vygenerované elektrické energie, přičemž je důležité, za jakým účelem byla konkrétní elektrárna vybudována. Nabízí se několik variant, od zaměření na prodej elektrické energie až po přímé využití v domácnostech či průmyslových provozech. Hlavní proměnnou je možnost napojení systému do distribuční soustavy. Systémy připojené k distribuční soustavě jsou nazývány ON-GRID a uzavřené systémy bez připojení k soustavě OFF-GRID.

První běžnou aplikací je ON-GRID systém bez akumulátoru založený na kombinaci přímé spotřeby vyprodukované elektrické energie a případného prodeje přebytků do distribuční sítě.

Druhou možností je OFF-GRID systém, který je uzavřený a není napojen do distribuční soustavy, též nazývaný jako ostrovní systém. Vyprodukovaná elektrická energie je přímo spotřebovávána na spotřebiči nebo je akumulována v akumulátorech pro další využití. Tento systém je vhodný zejména v objektech, kde je napojení do distribuční sítě komplikované a finančně nákladné.

Poslední systém je kombinací obou výše zmíněných aplikací. Jedná se o HYBRIDNÍ systém zaměřený na maximální spotřebu vyprodukované elektrické energie v daném objektu, kde je FVE instalována. Prioritou je zde akumulace energie do akumulátorového úložiště, které poté slouží například pro pokrytí okamžité spotřeby v domácnosti. Po úplném nabití akumulátorového úložiště jsou přebytky přímo spotřebovávány například na vytápění či ohřev vody, popřípadě mohou být poskytnuty do distribuční soustavy.

Rozdělení FV systémů dle distribuce elektrické energie ovšem není jediným způsobem, jak lze charakterizovat odlišnost mezi jednotlivými aplikacemi. Nabízí se i další možnosti dělby, například podle instalovaného výkonu, plošné velikosti či podle umístění samotných FV panelů.

Pokud je řeč o možnosti umístění FV panelů vzhledem ke střešní konstrukci budovy, nabízí se tři možnosti. Jednou z možností může být umístění FV panelů na ploché střeše pomocí lehké převážně hliníkové konstrukce svařené do optimálního sklonu a FV panely jsou k této konstrukci ukotveny, jak můžeme vidět na Obr. 5a. Další možnost umístění FV panelů se týká šikmých střech, ať už v podobě pultové či sedlové střechy. V případě sedlové střechy bývá její konstrukce tvořena tak, aby požadovaný optimální sklon panelů vytvářela samotná konstrukce krovu. Umístění panelů na sklonité střeše může být dvojího způsobu. Může se jednat o klasickou skladbu střechy, kde finální vrstvu na straně exteriéru tvoří např. pálená či betonová střešní krytina a FV panely jsou montovány až na tuto krytinu, viz Obr. 5b. Krytinu však mohou tvořit i samotné FV panely, jak můžeme vidět na Obr. 5c. V tomto případě jde stále o klasickou skladbu sedlové střešní

konstrukce, jak ji většinou známe, ale s tím rozdílem, že místo zmíněné pálené či betonové střešní krytiny jsou použity přímo FV panely jako finální krytina, které se montují na střešní latě tzv. Systém BIPV. [1, 7]



a)



b)



c)



d)

Obr. 5 a) FV panely na hliníkové konstrukci, b) FV panely na šikmé střeše montované na krytinu, c, d) Integrované FV panely

## 3 Příklady proběhnuvších požárů FVE v ČR

Umístění FVE na obálku budovy sebou nese patřičná požární rizika. Vyskytují se zde hořlavé materiály, které mohou šířit požár po objektu či jeho části. Jedná se o kabelové PVC rozvody, plastové komponenty a plastovou EVA folii, která je součástí skladby FV panelu. V následujících příkladech je popsáno, co může zapříčinit vznik požáru FVE a jeho možné následky.

### 3.1 Požár FVE na střeše skladovací haly Kunice

Jednalo se o požár FV panelů instalovaných na střeše haly, který se stal v srpnu roku 2012. Objekt skladovací haly se nachází v obci Kunice nedaleko dálnice D1. Jedná se o jednopodlažní objekt o rozměrech 552 x 104 m. Konstrukce haly je tvořena ocelovým skeletem. Mezi jednotlivými sloupy je umístěná tepelná izolace a dále následuje plechové opláštění. Objekt v té době nebyl dělen na požární úseky a bylo zde instalováno stabilní hasicí zařízení (SHZ). V konstrukci střechy byly instalovány světlíky pro přirozené osvětlení vnitřního prostoru haly a zároveň pro funkci odvětrávání pro odvod kouře v případě požáru. Střecha byla přístupná po požárních žebřících, kde byly instalovány zároveň suchovody. Na střeše byla instalována FVE, kterou tvořilo 24 354 FV panelů typu Q.SMART UF L 95 a 756 panelů SILIKEN SLK 60P6L 240 Wp. Rozvaděče RHC1, RHC2 a RHC3 a příslušná elektroinstalace. [4]

Skladba střechy od interiéru:

- Trapézový plech
- Parotěsná folie
- Minerální vata
- Polystyren
- Hydroizolační lepenka [4]

#### 3.1.1 Příčina vzniku požáru

Příčina vzniku požáru spočívala ve ztrátě dielektrických vlastností izolace výstupních kabelů z A-boxu v důsledku nspecifikovaného poškození. Negativně ovlivněna byla zejména elektrická pevnost a izolační odpor ochranné izolace. Při postupném nárůstu osvětlení FV panelů slunečním zářením byla instalovanou technologií generována elektrická energie vytvářející vzájemný potenciál mezi výstupními kabely (cca až 900 V). Narůstající elektrický potenciál způsobil elektrický průraz izolace v poškozeném místě, a tím vznik vodivé cesty pro průchod svodového proudu a jeho nárůstem. Průtokem proudu se projevíly tepelné ztráty na propojovací desce

s plošnými spoji ve vnitřním systému A-boxu. Důsledkem toho, že tepelná energie v uzavřeném plastovém krytu rozvodnice byla vyšší než schopnost konstrukce A-boxu odvádět teplo do okolí, začal se komponent A-box zahřívat a vnitřní teplota postupně vzrůstala až ke kritické hodnotě, která způsobovala tepelný rozklad. Na základě tohoto děje docházelo k tání materiálu a následné degradaci plastu na hořlavé produkty. Hoření krytu zmíněného A-boxu nabíralo na intenzitě, až se požár rozšířil na střešní konstrukci skladovací haly (Obr. 6a). [4]



a)



b)

Obr. 6 a) Pohled na střechu skladovací haly Kunice, b) Rozšíření požáru skladovací haly Kunice [4]

### 3.1.2 Protipožární zásah

Zásah jednotek Hasičského záchranného sboru byl veden z vnější strany objektu po výše zmíněných požárních žebřících. K zásahu vyjela nejdříve jednotka požární ochrany obce Říčany. V době, kdy se jednotky Hasičského záchranného sboru Středočeského kraje blížily k objektu skladové haly, byl vidět hustý kouř vycházející ze střechy skladovací haly a bylo jasné, že se nebude jednat o malý požár. Během jízdy, kdy byl vizuální kontakt s požárem, povolávaly pomocí komunikačních technologií na pomoc další jednotky požární ochrany a byl vyhlášen 2. stupeň požárního poplachu. V době nahlášení požáru ani během jízdy jednotek požární ochrany k danému požáru nebylo známo, že se jedná o požár FVE. Tuto skutečnost se členové zasahujících hasičských záchranných sborů dozvěděli až po příjezdu k objektu. Problém nastal ihned po okamžiku zjištění polohy požáru, který byl uprostřed střechy, a bylo tak těžší se k požáru dostat přes okolní požárem nezasažené panely, které pokrývaly celou plochu střechy haly. Při požáru zasahovaly tři profesionální sbory a devět jednotek dobrovolných hasičů.

První úkon po příjezdu k objektu bylo zjištění rozsahu požáru a jeho možné šíření. Dále bylo důležité zjistit v jaké místnosti by byla možnost vypnout elektrický systém FVE. Bohužel celý FV systém od elektrické energie vypnout nelze, jelikož se v systému nachází část, která je

neustále pod napětím (podrobněji bude vysvětleno v následujících kapitolách). Dalším problémem byly chybějící komunikační cesty mezi jednotlivými sekcemi FV panelů, což způsobovalo zhoršení podmínek pro pohyb po střeše, a tak nezbývalo nic jiného než dané FV panely přelézat v plné výstroji. Negativním faktem je i samotná konstrukce pomocí níž jsou panely kotveny ke střeše v daném sklonu. Jedná se většinou o lehkou hliníkovou konstrukci, která má ostré hrany. Tento požár toho byl jasným důkazem, kdy se hasičům vlivem tahání hadic přes tyto zmíněné konstrukce hadice porušovaly do takové míry, že došlo k jejich proříznutí a úpadku tlaku na proudnici.

Vlivem požáru střešní konstrukce, kde byla užitá hořlavá střešní krytina, viz skladba střechy, došlo k rozšíření požáru až ke střešním světlíkům, které nevydržely vzniklou teplotu a skla světlíků praskla. Požár se tímto rozšířil dovnitř objektu, kde zasáhl skladované zboží, a tak musel být protipožární zásah veden i vnitřkem budovy.

Vlivem silného větru velitel zásahu vůbec neuvažoval o možnosti hašení požáru pěnovým hasivem. Jako hasivo byla použita voda, kterou ale bohužel silný vítr odkláněl od potřebného směru, jelikož zprvu byl protipožární zásah veden pomocí zvedacích plošin hasičských vozů, čímž se hasiči nedostali na potřebnou vzdálenost, aby se požár podařilo dostat pod kontrolu. Došlo tedy k nasazení rozdělovačů na tzv. C proudy a požár byl hašen přerušovaným proudem vody přímo ze střechy skladovací haly.

Závěrem k tomuto požáru lze říct, že při jeho zdolávání nebyl zraněn žádný příslušník zasahujících požárních jednotek ani jiné osoby. Po uhašení byla škoda vzniklá požárem stanovena na 17 milionů korun. Byly následně stanoveny i další možné následné škody až ve výši 450 milionů korun. Hasičským záchranným sborům se díky zásahu podařilo uchránit hodnoty ve stanovené výši 180 milionů korun. [4]



a)



b)

Obr. 7 a) Ohnisko požáru - poškozený plastový A-box, b) Střeška haly po likvidaci požáru [4]

### 3.1.3 Realizovaná opatření

První věcí, na kterou se zaměřilo, byl vývoj a následné umístění nových A-boxů, kde plastový A-box nahradil box kovový a následné umístění nehořlavých kovových odkapových van, které byly instalovány i pod S-boxy. Došlo k zřízení trvalého dohledového centra s akustickou signalizací a proškolení trvalé obsluhy pro případ hašení, odpojení systému, ohlášení mimořádné situace a odstrižení FVE. Dále byl instalován dálkový přenos dohledového centra a byly umístěny přenosné hasicí přístroje k výlezům požárních žebříků. Byl instalován kamerový systém a byl vyhrazen prostor kolem požárních žebříků. Po proběhnuvších událostech došlo k označení objektu upozorňující na přítomnost FVE a označení centrálního vypínače v AC části (střídavý proud). Zásahové cesty mezi sekcemi panelů ale realizovány nebyly. [4]

## 3.2 Požár FVE na střeše sportovní haly v Berouně

V tomto případě se jednalo o požár FV panelů instalovaných na střeše sportovní haly v obci Beroun v zastavěném území, který se stal 12. října roku 2012. Střecha byla přístupná po požárních žebřících. Střešní krytina byla tvořena hydroizolační lepenkou. Jak je vidět na Obr. 8a, FV panely byly montovány ke konstrukci střechy pomocí lehké kovové konstrukce. Polohovatelnými patkami byly následně ukotveny FV panely ke střešní konstrukci. Panely byly instalovány opět bez zásahových cest, což mělo za následek ztížení protipožárního zásahu. [4]

### 3.2.1 Příčina vzniku požáru

Zde můžeme ve své podstatě zopakovat stejnou informaci jako v případě požáru FVE na střeše haly v Kunicích v předchozí kapitole, jelikož i v tomto případě se jednalo o chybný návrh a umístění A-boxu, který byl z plastového materiálu. Vlivem postupného zahřívání došlo k poškození A-boxu, od kterého se zapálily kabelové rozvody propojující jednotlivé komponenty FV systému. Požár se následně rozšířil na střešní hydroizolaci, která měla za následek tvorby hustého dýmu viděného ze vzdálenosti několika kilometrů. [4]

### 3.2.2 Protipožární zásah

Na místo události byly vyslány zásahové jednotky ze stanice Beroun a dobrovolné jednotky ze stanice Králův Dvůr, Chyňava a Zdice. Při zásahu bylo přítomno osm jednotek požární ochrany, kde tři jednotky byly z řad profesionálních jednotek a zbylých pět jednotek byly součástí sdružení sboru dobrovolných hasičů. I v tomto případě bylo zjištěno, že se jedná o požár střechy s instalovanou FVE až po příjezdu jednotek požární ochrany na místo události. Po příjezdu bylo

zjištěno, že se požár rozšiřuje přes střešní plášť do vnitřních prostor sportovní haly. Rozsah požáru byl patrný už během cesty, což bylo zapříčiněno velkým množstvím černého dýmu, vznikajícího hořením právě zmíněné střešní hydroizolace. Velitel zásahu pomocí Krajského operačního a informačního střediska Hasičského záchranného sboru Středočeského kraje vyhlásil 2. stupeň poplachu a na místo události byly vyslány další posilové jednotky požární ochrany. Zasahující jednotky provedly v dýchací technice postupně bojové rozvinutí dvou útočných vodních C proudů a dvou proudů pěny, kterou pokryly hořící střechu. Při tomto zásahu došlo k jednomu lehkému zranění člena sboru dobrovolných hasičů.

Důsledkem požáru vznikla přímá škoda ve výši 15 milionů korun. Podařilo se uchránit hodnoty ve stanovené výši 30 milionů korun. [4]



a)



b)

Obr. 8 a) Ohnisko požáru střechy sportovní haly, b) Požár střechy a FVE

## 4 Problematika FV systémů z hlediska požáru

### 4.1 Identifikace rizik

I když se problematika požárů FVE vlivem neznalosti a obav laické veřejnosti těšila, řekněme ne příliš oprávněné pozornosti, není radno celou záležitost bagatelizovat. FVE jsou, co do podstaty, elektrická zařízení, která vždy přináší určitá nezanedbatelná bezpečnostní rizika. Pro možnost tvorby preventivních opatření, ale i provedení efektivního hasebního zásahu, je vždy nezbytná identifikace relevantních rizik. Tato rizika lze z pohledu požární bezpečnosti rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou scénáře mající příčinnou souvislost se vznikem požáru a druhou skupinu představují úskalí se samotným hasebním zásahem. Je nutné konstatovat, že FV moduly jsou hořlavé, a to bez ohledu na jejich technologii a konstrukci. S touto skutečností je třeba počítat jak při represivní, tak preventivní činnosti.

Zaměříme-li se na první skupinu rizik, musíme specifikovat, do jaké míry a zda vůbec mohou technologie FVE zapříčinit vznik požáru. Jak již bylo uvedeno, jedná se v podstatě o soustavu komponentů, kterými protéká elektrická energie. Z praxe vyplývá, že jakékoliv zařízení, kterým protéká elektrický proud, je potenciálním zdrojem rizik vzniku požáru. U FVE lze tedy rizika identifikovat na jejich jednotlivých proudově zatěžovaných komponentech. Nutno však dodat, že u vhodně navržených, bezchybně realizovaných a udržovaných elektráren jsou podle očekávání rizika minimální. Nicméně i minimální riziko je riziko. K čemu tedy musí dojít, aby se potenciální riziko překlenulo až v onen negativní požár?

Nabízí se několik běžně uvažovaných variant. Podle vyšetřování u nás vzniklých požárů FVE [4,5], bylo zjištěno, že zdrojem nejčastějších problémů jsou chyby či nedostatky při instalaci FV systémů, následovány vadami komponentů a dále nevhodným návrhem celé technologie či dílčích částí. Jako problematické se jeví i přímé vystavení systému vlivům vnějšího prostředí. Vady výrobků představují výrobní vady, nevhodný design, materiálové rozložení a provedení konkrétních komponentů. Pokud bychom chtěli danou oblast lépe konkretizovat, jde především o vady samotných FV panelů či měničů (střídačů). Oblast mající s velkou pravděpodobností největší podíl na celkové požárovosti FV systémů je jejich nevhodná či zcela chybná instalace. To, že k chybám při instalaci dochází a docházet bude, je bohužel nevyhnutelný fakt. Lze jen spekulovat, co je tou skutečnou příčinou, jestli jsou to ztížené podmínky při instalaci ve venkovním prostředí, časový nátlak nebo nedostatečné odborné znalosti osob pověřených instalací či následnou pravidelnou revizí. Z vyšetřování proběhnuvších požárů FVE na území ČR a prováděných revizí byly zjištěny následné chyby při instalaci:



- špatné napojení konektorů DC části,
- špatné „krimpování“ (spojování odizolované části kabeláže s konektory) kabelů s konektory,
- nedostatečné nebo žádné odlehčení kabeláže (mechanické přetěžování svorek),
- nedostatečné odizolování kabelových přípojí,
- nedostatečné utažení svorkovnic a šroubových spojů,
- chybně navržené odvětrání prostor, kde jsou komponenty umístěné či úplná absence odvětrání.

Dalším poměrně častým problémem může být nevhodný návrh celého systému nebo jeho jednotlivých dílčích částí. V tomto ohledu se může jednat o chyby například:

- volba nevhodných komponent, jako jsou nesprávné pojistky na DC straně, nevhodné venkovní měniče, nevhodné svorky pro hliníkové kabely,
- poddimenzování kabeláže (nezohlednění teplot okolního prostředí),
- nevhodné umístění měniče (například vystavení přímému slunečnímu záření).

Obecně lze konstatovat, že případy požárů elektrických instalací mnohdy souvisí s přetížením určitého komponentu či spoje a následným zahříváním problémové části. S rostoucí teplotou vodičů se zvyšuje jejich elektrický odpor, což opět přináší další teplotní přírůstky. V extrémních případech je nárůst teploty přetěžované části tak významný, že dochází k tavení izolací a přítomného hořlavého materiálu, což může při určitých podmínkách vést až ke vzniku nežádoucího požáru. V souvislosti s přetížením vodičů a spojů jsou popisovány dvě typické elektrické disfunkce, přechodový odpor a svodový proud. Přechodový odpor nelze nikdy zcela eliminovat, je však žádoucí jej minimalizovat na únosnou míru. Zvýšení elektrického odporu a následně i teploty je zde způsobeno oslabením průřezu vodiče. Oslabení průřezu vodiče lze očekávat například u nevhodně provedených spojů, kde není napojovaný vodič v potřebném vodivém spojení s vodivou plochou propojované části (spojení kabel + konektor, svorkovnice apod.). V důsledku nedostatečné styčné plochy propojených vodičů pak dochází k postupnému zahřívání inkriminovaného místa.

Dalším jevem je tzv. svodový proud. Tento jev je ve spojení se vznikem požáru popisován například při oslabení dielektrických vlastností izolace kabelů. K oslabení izolace může dojít v důsledku útlaku či nevhodného zatížení kabeláže, přičemž dojde k vzájemnému přiblížení vodičů s různými potenciály a oslabení tloušťky jejich vzájemného odizolování. Následkem

oslabení tloušťky izolace jsou sníženy jejich požadované dielektrické vlastnosti a tato disfunkce umožní částečný prostup elektrického proudu v místě oslabení. Tato skutečnost nemusí znamenat okamžitý zkrat mezi přibližujícími se vodiči, ale může docházet pouze k pozvolnému dlouhodobému zahřívání oslabené části, aniž by došlo k poruše jisticích prvků. Pokud teplota dosáhne určité meze, dochází k uhelnatění již tak oslabené části izolace a dalšímu snížení požadovaných izolačních vlastností (vznikající uhlík je elektricky vodivý). Tímto způsobem se může svodový proud prostupující oslabenou izolací dostat až na hodnotu zkratového proudu [1].

## 4.2 Nebezpečí vzniku požáru

Bavíme-li se o nebezpečí vzniku požáru FVE, lze se setkat s několika různými informacemi, popisujícím příčinu vzniku požáru FV systémů. Jak už bylo popisováno výše, jedním z příčin vzniku požáru bývá poddimenzování kabeláží a jednotlivých komponent.

Příčinou vzniku požáru bývá špatné navržení právě zmiňovaných komponent a zvolené menší průměry kabelů, než měly být použity a závěry vyšetřování poukazují na technickou závadu na elektrickém zařízení. Jedná se o problém, kde samotné působení elektrického zkratu je poruchový jev, při kterém dochází k silnému vývinu tepla a teplota v prostoru působení jevu může dosáhnout až 3750 °C [1]. Vzhledem k tomu, že se v konstrukci elektrických rozvodných zařízení vyskytují plasty a hořlavá izolace elektrických kabelů s teplotou vznícení 380 až 550 °C, může při výskytu elektrického zkratu snadno dojít k překročení teploty vznícení zmiňovaných materiálů, čímž pak dochází právě ke vzniku požáru. V souvislosti s rostoucími teplotami komponent FVE je třeba říci, že se často nevěnovala pozornost požadavkům na větrání prostor, skříní, kam se jednotlivé komponenty umísťují či množství prachu v těchto skříních. Ukázalo se, že prostory nebyly dostatečně či dokonce nebyly větrané vůbec, což samozřejmě vede k rychlejšímu nárůstu teploty v okolí komponent a vzniku požáru. V takovém případě, pokud to lze, je nutné hořící zařízení (například střídač) odpojit od ostatních částí FV systému nebo FV systém odpojit od elektrické rozvodné sítě objektu případně i akumulátorů.

## 4.3 Nebezpečí šíření požáru

Pokud dojde k požáru FVE na střeše budovy je nebezpečí rozšíření požáru na jiné konstrukce či požární úseky vlivem nesprávně navržené konstrukce střechy nesplňující požadavky na požární odolnost. Je tedy potřeba upozornit na to, aby konstrukce střechy splňovala nejen požadovanou požární odolnost. V případě střechy, na které není umístěna FVE, musí být požární odolnost (R)EW. Pokud je na konstrukci střechy připevněna FVE, nachází se na střeše nahodilý požární

zatížení vlivem FV panelů a celkové požární zatížení je tak lokálně navýšeno. Tudíž musí střecha splňovat odolnost REI. Dále musí být splněny požadavky na požárně technické charakteristiky střešního pláště. V oblasti instalovaných fotovoltaických panelů je nutné, aby střešní plášť splňoval požadavek  $B_{\text{roof}}(t_3)$ . Dále index šíření plamene po povrchu střešního pláště s hodnotou  $i_s = 0,0$  mm/min.

Problém totiž může nastat tehdy, dojde-li k požáru uvnitř objektu, například v půdním prostoru. V tu chvíli nastává úkol okolních konstrukcí zamezit riziko šíření požáru mimo budovu, aby nedošlo k požáru FVE. Pokud by došlo k tomu, že se požár rozšíří na venkovní FVE, je potřeba brát zřetel na požadavky střešního pláště, kterým se nesmí šířit požár po celé střeše. Bylo by tedy dobré zmínit, že v případě instalace FVE na střešní konstrukci dané budovy je potřeba zvolit nehořlavou střešní krytinu. Toto by ale nemuselo být splněno v případě, kdy FV panely nejsou instalovány v celé ploše střechy.

V neposlední řadě je třeba zohlednit umístění jiných technologických zařízení či instalací technických zařízení budov, například odvětrání kanalizace budovy nad střechu, kabeláž telekomunikačních sítí apod., která jsou většinou z hořlavých materiálů. Tato zařízení by se neměla vyskytovat v blízkosti FVE, aby nedošlo k rozšíření požáru do budovy. S těmito poznatky úzce souvisí požárně nebezpečný prostor FVE, čemuž se věnuje kapitola 8 této diplomové práce.

Požár střešní konstrukce s FV panely lze charakterizovat:

- možností přítomností stejnosměrného napětí a proudu v kovových konstrukcích střechy, v uchycení FV panelů vlivem obnažení rozvodných kabelů stejnosměrného napětí vedoucí mezi FV panely a konstrukcí střechy,
- šířením požáru z panelu na jiný panel kabelovými rozvody, hořlavými částmi a hořlavou krytinou konstrukce střechy, prachem a dutými stavebními konstrukcemi,
- ztrátou nosnosti konstrukcí FV panelů a zřícením panelů, odtržení panelů od střechy a jejich sesunutí,
- typem nosné konstrukce střechy (sedlová, pultová, plochá, valbová). [1, 7]

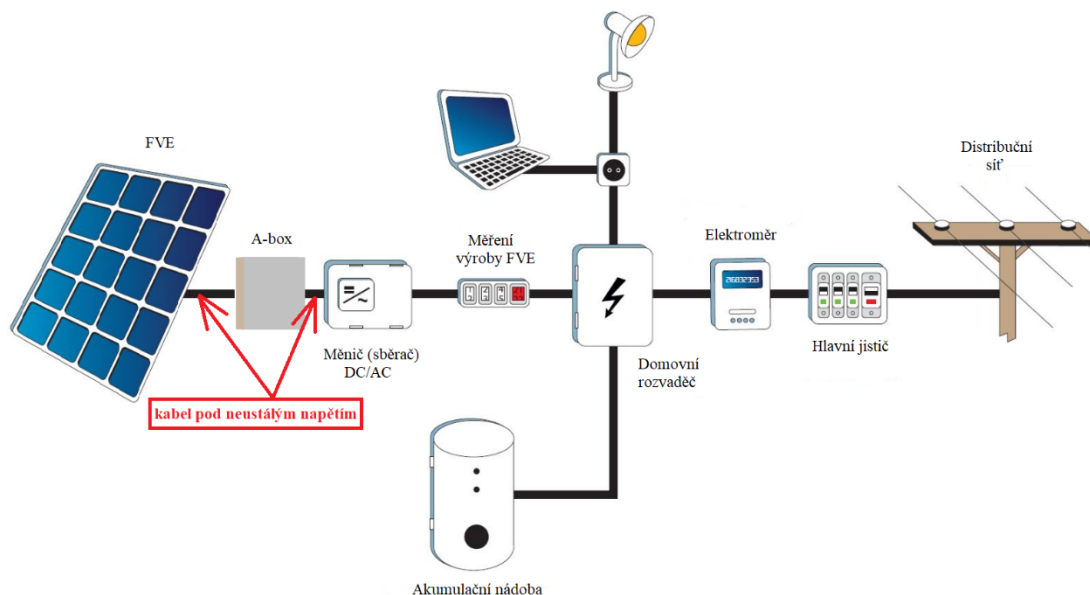
#### 4.4 Nebezpečí a rizika při protipožárním zásahu FVE

Jedním rizikem při protipožárním zásahu, které můžeme ve spojení s požárem FVE slýchat, je nebezpečí úrazu elektrickým proudem. Je pravda, že tato skutečnost je svým způsobem pravdivá, ale existují zásady a postupy, které by měly toto riziko minimalizovat. Dříve nebylo v ČR příliš mnoho informací, které by se týkaly protipožárního zásahu FVE. Po několik vzniklých požárech volali členové Hasičských záchranných sborů (HZS) po směrnicích, jak se při zásahu požáru

a hašení FVE chovat. Byly tedy v ČR vytvořeny Metodické listy, které jsou součástí dnešního bojového řádu jednotek požární ochrany [5].

V souvislosti s hašením FVE se jedná především o rizikové místo, které je při osvětleném panelu pod neustálým napětím vlivem nemožnosti odpojení od dodávky elektrického proudu. Jedná se o místo či místa mezi sekcemi FV panelů a centrálním střídačem, kde se stejnosměrný proud mění na střídavý (Obr. 9). Z pohledu požární bezpečnosti je dobré, aby tato vedení byla co možná nejkratší a snažit se to dodržet už přímo při projektování FVE. V potaz by mohla přijít i možnost, budeme-li mluvit o velkoplošné instalaci FVE například na střechu průmyslového objektu, navržení lokálních střídačů pro každou sekci FV panelů. Z lokálních střídačů by vedl kabel do centrálního střídače s tím, že kabel k centrálnímu střídači by se dal odpojit od napětí a minimalizovala se tak místa a délka vedení, jelikož při požáru může dojít k obnažení kabelů, které jsou v případě osvětlení panelů pod stálým napětím a jsou tak zmíněným rizikem nebezpečí zasažením elektrickým proudem.

Riziko spočívá i v případě, kdy jsou FV panely instalovány na ploché střeše budovy s atikou. Budova či atika může být natolik vysoká, že nelze identifikovat rozsah a konkrétní umístění panelů ze země. S protipožárním zásahem na ploché střeše souvisí riziko rozříznutí hadic o konstrukci samotných FV panelů či o kovovou konstrukci nesoucí FV panely. Protože jak FV panely, tak jejich podpůrné kovové konstrukce mají velice ostré hrany, které mohou poškodit hadice natolik, že dojde k jejich rozříznutí a ztrátě či nulovému tlaku na proudnici. [1, 7]



Obr. 9 Schéma zapojení FVE s vyznačeným rizikovým místem

## 5 Legislativa České republiky pro fotovoltaické systémy

Legislativa týkající se fotovoltaických systémů není v České republice příliš rozsáhlá. Dosavadní legislativa obsahuje především zákony zaměřující se obecně na energie a jejich úspory. Následně zde najdeme zmínky o financování, povinnosti výrobce elektřiny, daňovou problematiku, pravidla provozování distribučních soustav a hospodaření s energiemi. [2]

Ve spojení s požárními riziky fotovoltaických elektráren toho v české legislativě příliš mnoho nenajdeme. Jsou to například požadavky stavebního zákona na požární bezpečnost, zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, vyhláška Ministerstva vnitra České republiky č. 246/2001 o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci). V důsledku skutečností a opakujících se problémů při protipožárním zásahu fotovoltaických elektráren byly na základě opakujících se upozornění hasičských záchranných sborů krajů vydány Ministerstvem vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky Metodické listy v rámci Bojového řádu jednotek požární ochrany – taktické postupy.

### 5.1 Zásady protipožárního zabezpečení střešních instalací FVE a opatření požární prevence

Vzhledem ke špatné informovanosti o systémech FVE byla založena pracovní skupina Fire, jež spojuje odborníky z Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT v Praze (UCEEB), Hasičského záchranného sboru Středočeského kraje, Solární asociace a zástupce instalační a servisní společnosti Photon Energy Operations. [8] V dokumentu je pozornost věnována projekci, instalaci, provozu, údržbě FV systémů a zajištění vhodných podmínek pro protipožární zásah.

Pro projektování FVE jsou zde sepsány zásady, na které je nutno brát zřetel. V případě instalace FVE na střechu musí v místě FVE střešní plášť splňovat požadavek  $B_{\text{roof}}(t_3)$ . Dále je potřeba stanovit odstupové vzdálenosti, zásahové cesty a požadavky na umístování střídačů a rozvaděčů do stinných míst.

Při instalaci FVE dbát na správnost uchycení kabelových spojů v rozvaděčích, ochranu venkovní kabeláže proti účinkům UV záření. Je nutné FVE požárně oddělit od sousedních požárních úseků a umožnit samočinné rozpojení instalace, aby v systému bylo maximální napětí 400 V.

Během provozu FVE je nutné systém kontrolovat v daných periodických cyklech. Kontrola a údržba systému by se měla zaměřovat na spoje kabelových vedení, zda jsou řádně dotaženy. Pomocí termovizních přístrojů kontrolovat zvýšené teploty v rizikových místech a tyto místa během provozu monitorovat, aby se přešlo případnému nežádoucímu jevu. [8]

## 5.2 Zákon o hospodaření s energií

Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření s energií, upravuje mj. povinnosti vlastníků budov při instalaci vybraných zařízení využívající energii z obnovitelných zdrojů. Podle § 7 odst. 4., písmene b) tohoto zákona může instalovat kamna a kotle na biomasu, fotovoltaické a termické systémy, mělké geotermální systémy a tepelná čerpadla pouze oprávněná osoba [9].

Pro potřeby zákona o hospodaření energií byly v Národní soustavě kvalifikací (NSK) vytvořeny kvalifikace pro výše zmíněné instalace a jednou z kvalifikací je elektromontér FV systémů. Oprávněnou osobou je dle § 10d zákona o hospodaření energií fyzická osoba ale také právnická osoba, která je držitelem živnostenského oprávnění. Právnická osoba musí zajistit provedení instalace osobou fyzickou, která je držitelem osvědčení profesní kvalifikace, které není starší než 5 let a za předpokladu, že zdrojem financí jsou národní nebo evropské dotace. Cílem tohoto oprávnění je samozřejmě fakt, aby instalaci, opravy a revize FV systémů prováděly jen takové osoby, které svými zkušenostmi, vzděláním a nezávislým ověřením autorizovanou osobou splňují odpovídající vysokou odbornou úroveň a vysoký stupeň kvalifikace a vznikaly pouze vysoce efektivní, energeticky a optimalizačně propracované FV systémy, a jejichž instalace bude splňovat požadavky na požární bezpečnost. [9]

## 5.3 Stavební legislativa fotovoltaických systémů

Jelikož FV systémy patří k zařízením, které zásobují stavbu elektrickou energií, řadí se tak k technickým zařízením stavby (TZB) a vztahují se na ně požadavky stavebního zákona (SZ) v podobě umístění, provedení a užívání FV systémů.

Pokud je FV systém instalován na stavbu nebo do stavby, jedná se vždy o změnu dokončené stavby – o stavební úpravy dokončené stavby. Podle § 76 odst. 6 SZ nevyžadují stavební úpravy rozhodnutí o umístění stavby ani územní souhlas.

Způsob povolení FVE, respektive stavebních úprav spojených s instalací FVE se posuzuje podle konkrétně navržených podmínek stavebních úprav. Za podmínek daných stavebním zákonem lze aplikovat § 103 odst. 1 písm. d) SZ – stavební povolení ani ohlášení stavebnímu úřadu nevyžadují stavební úpravy, pokud:

- nezasahuje se jimi do nosných konstrukcí stavby, aby nebyla narušena statická část celé konstrukce stavby,
- nemění se vzhled stavby ani způsob užívání stavby,
- nevyžadují posouzení vlivů na ŽP,
- jejich provedení nemůže negativně ovlivnit **požární bezpečnost stavby**,
- nejde o stavební úpravy stavby, která je kulturní památkou. [10]

Dále se jedná o paragrafy SZ týkajících se plošných rozměrů na základě kterých se vyžaduje ohlášení stavby či přímo stavební povolení. Jedná se § 104 odst. 1 písm. a) SZ; § 104 odst. 1 písm. d) SZ; § 108 až § 118 SZ.

Pokud provedení stavebních úprav spojených s instalací FV systému nevyžadovalo dle výše popsaných bodů oznámení stavebnímu úřadu, nevyžaduje se oznámení ani pro užívání FVE (§ 120 SZ) ani kolaudační souhlas (§ 122 SZ). Zde je dobré podotknout, že instalací FVE na stavbu je dodatečně navýšeno požární zatížení, což vlastně negativně ovlivňuje požární bezpečnost dané stavby. Pokud dojde k instalaci FVE na budovu, měla být konzultována s příslušnými orgány státní správy. [2, 10]

## 5.4 Zákon o požární ochraně

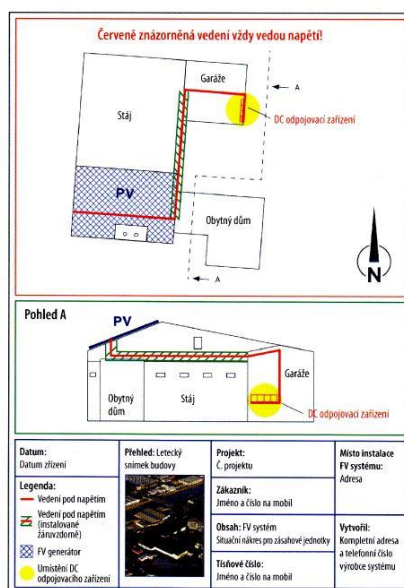
Zákon 133/1985 Sb., o požární ochraně, jehož účelem je mj. vytvořit podmínky pro účinnou ochranu a zdraví občanů a majetku před požáry, postavení a působnosti orgánů státní správy a samosprávy na úseku požární ochrany, jakož i postavení a povinností jednotek požární ochrany. V souvislosti s tím se provádí výkony státního požárního dozoru dle § 31 zákona o požární ochraně, kontrola dodržování povinností stanovených předpisy o požární ochraně. Zákon o požární ochraně je úzce spojen se SZ, kde na základě stupně dokumentace se provádí její posouzení dle zákona 133/1985 Sb., o požární ochraně. Posuzování se provádí v rozsahu požárně bezpečnostního řešení podle zvláštního právního předpisu nebo v rozsahu obdobného dokumentu, který je dostatečný pro posouzení požární bezpečnosti stavby, a to pouze u staveb a zařízení, u kterých je vykonáván státní požární dozor. [11]

## 5.5 Vyhláška o požární prevenci

Vyhláška Ministerstva vnitra České republiky č. 246/2001 o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci). [12] V souvislosti s touto vyhláškou mohou být instalací FVE zapříčiněny složité podmínky pro zásah jednotek

požární ochrany a na základě toho by v rámci dokumentace zdolávání požáru dle § 34 vyhlášky o požární prevenci [8] měla být součástí zmínka o základních údajích týkajících se FVE, aby bylo zřetelné, že se v objektu vyskytuje FV systém. Příklad bychom mohli vzít ze zahraniční legislativy, a to například směrnici VDE-AR-2100-712 [2, 13] podle které by se zpracovával jednoduchý situační náčrt, který zásahové jednotce pomůže rychle zjistit umístění komponent v objektu, která jsou pod napětím (Obr. 10). Situační náčrt musí, pokud možno jednoduše a jasně nastínit druh a polohu komponent FV systému, jako například:

- všechna vedení pod napětím, která se nedají vypnout,
- všechna FV DC vedení pod napětím v budově,
- umístění střídače napětí,
- umístění všech DC odpojovacích zařízení,
- umístění hlavního rozvaděče v budově. [2, 7]



Obr. 10 Příklad situačního náčrtu podle VDE-AR-2100-712 [2, 13]

## 5.6 Metodické listy

Vzhledem k opakujícím se problémům při požárech FV elektráren byly pro Hasičské záchranné sbory ČR vydány dokumenty v podobě právě zmíněných Metodických listů, a to konkrétně Metodické listy 25 P, 47 P a 48 P, které vydalo Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky. [3, 5, 6]



### 5.6.1 Metodický list 25 P - Hašení vodou elektrických zařízení a vedení pod napětím do 400 V

Jak už název napovídá, tento metodický list upravuje postup jednotek požární ochrany při vzniku zvláštní situace, kdy lze k hašení elektrických zařízení a vedení pod napětím do 400 V použít jako hasební látku vodu. Tím se rozumí dodávka vody za předepsaných podmínek, přičemž uvedené hašení lze použít v následujících případech:

- kde není možné odpojit elektrické zařízení a vedení od napětí do 400 V,
- pokud nelze použít jiné hasivo určené pro hašení pod napětím,
- kde není napětí elektrického proudu na elektrické zařízení nebo vedení vyšší než 400 V,

a dále za předpokladu, že jsou dodrženy následující podmínky:

- použití pouze kombinované nebo vysokotlaké proudnice,
- dodržení bezpečné vzdálenosti za předepsaného minimálního tlaku vody na proudnici,
- použití viditelně neznečištěné vody,
- dodržení podmínek pro provedení zásahu, kdy hasiči nesmí být v přímém kontaktu s vodou (kaluže, odtékající voda) nebo vodivými předměty spojenými s elektrickým zařízením nebo vedením, ve kterém se předpokládá elektrické napětí (vodiče, rozvodné skříně) a v místě zásahu musí být viditelnost taková, aby bylo možno dodržet bezpečnou vzdálenost, čímž se rozumí nejmenší vzdálenost mezi koncem proudnice a hašeným zařízením nebo vedením pod napětím do 400 V při dodržení minimálního tlaku vody na proudnici a při dodržení viditelné čistoty vody (tab. 1). [5]

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

tab. 1 Bezpečná vzdálenost a minimální tlak na proudnici [5]

Při tomto způsobu hašení je nutné, aby proud vody byl směřován na hořící zařízení nebo vedení pod napětím až po dosažení alespoň minimálního tlaku na proudnici. Pro zajištění správných vlastností vody je třeba dbát na její čistotu, aby nebyla viditelně znečištěná, se smáčedlem, s pěnidlem a jinými příměsemi způsobující vyšší kompaktnost proudu nebo vodivost vody a v neposlední řadě je nutno používat standartní ochranné prostředky hasičů. [5]

### 5.6.2 Metodický list 47 P – Požáry střešních konstrukcí s fotovoltaickým systémem

Pro účel tohoto metodického listu se FV systémem rozumí zařízení umístěné obvykle na střeších obytných budov s výkonem do 10 kWp. Pojednává se zde o tom, co vlastně znamená pojem fotovoltaika a fotovoltaický systém. Poukazuje se na jednotlivé komponenty, které jsou součástí FV systému a především na nebezpečná a komplikovaná místa z hlediska požární bezpečnosti a protipožárního zásahu viz *kapitola 4.1*. Požáry střech s instalovaným FV systémem se dle tohoto metodického listu rozdělují na:

- **požár elektroinstalace FV systému**, kde se k uvedenému požáru přistupuje obdobně jako při hoření elektrických zařízení pod elektrickým napětím,
- **požár střešní konstrukce s FV panely** a rozvodných kabelů mezi nimi,
- **požár budovy, na které je instalován FV systém.**

Aby mohla být rizika při požáru FV systému co nejvíce potlačena, je třeba při požáru střešní konstrukce požadovat a zajistit odpojení FV panelů od měniče, FV systému od elektrické sítě nebo baterií. Důležitým úkonem je zabránění šíření požáru mimo požárem zasáhnutou část střechy ve vhodných místech a v těchto místech organizovat hlavní směr protipožárního zásahu tak, aby byla chráněna statická část nosné konstrukce střechy a nedošlo ke ztrátě únosnosti a případnému kolapsu konstrukce. U požárů FV systému je třeba dbát zvýšené pozornosti ohledně možnosti zásahu elektrickým proudem, a proto by se měl na práce na střeše určovat jen nezbytný počet hasičů s tím, že hasiči se nesmějí na střeše vyskytovat při současném hašení střechy vodivými hasivky. V případě, kdy se hasiči pohybují po požárem zasažené střeše, je nutné vyhybat se kontaktu s vodivými částmi střechy a FV panelů. Nešlapání na FV panely, nedotýkání se kovových konstrukcí FV panelů nebo střechy, pokud jsou viditelně spojeny s nosnou konstrukcí panelů. [3]

### 5.6.3 Metodický list 48 P – Požáry fotovoltaických elektráren

Pro účel tohoto metodického listu se FV systémem rozumí zařízení umístěné na rozlehlých střeších zpravidla průmyslových a skladovacích objektů nebo na volném prostranství s velkým množstvím FV panelů v řadách s výkony nad 10 kWp. S porovnáním Metodického listu 47 P se jedná o podobný dokument s tím, že v Metodickém listu 48 P je problematika rozšířena o velkoprostorové instalace FVE na zelených loukách. [6]

## 5.7 Normy a předpisy

Ohledně požární bezpečnosti fotovoltaických elektráren doposud nenajdeme v české legislativě žádnou normu, která by se touto problematikou zabývala. Nicméně můžeme najít normy a předpisy týkající se požadavků na konstrukci FV modulů, zkoušky při uvádění do provozu, systémovou dokumentaci, údržbu a kontrolu při uvádění do provozu.

Můžeme se setkat například s normou **ČSN EN 62446-1** „Požadavky na zkoušení, dokumentaci a údržbu – Část 1: Systémy spojené s rozvodnou sítí – Dokumentace, zkoušky při uvádění do provozu a kontrola“ [14], která definuje minimální informace a dokumentaci, která musí být předána zákazníkovi po instalaci FV systému připojeného do sítě. Dále jsou zde popsány minimální zkoušky při uvádění do provozu, kontrolní kritéria a dokumentaci předkládanou pro ověření bezpečné instalace a správnou obsluhu systému a lze jí použít i pro pravidelné přezkušování. Norma však není určena pro FV systému s ukládáním energie nebo pro hybridní systémy. [14]

Další dokument, se kterým se můžeme setkat je **ČSN EN 61730-1** „Způsobilost k bezpečné činnosti fotovoltaických modulů – Část 1: Požadavky na konstrukci“ [15], která je českou verzí mezinárodní normy EN 61730-1:2007, kterou schválil Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice (CENELEC). Norma popisuje základní požadavky na konstrukci FV modulů, aby pracovaly po dobu své očekávané životnosti bezpečně, jak po stránce elektrické, tak mechanické. Je zde snaha o definování základních požadavků pro různé aplikační třídy FV modulů. Účelem dokumentu je poskytnout základní návod pro certifikaci základní konstrukce FV modulů předložených ke schválení bezpečnosti, zkoušením podle EN 61730-2. Tyto požadavky by měly minimalizovat nesprávné použití a zneužití modulů nebo průraz vnitřních součástí, což může vést až k nežádoucímu požáru, úrazu elektrickým proudem apod. [15] Druhou částí je **ČSN EN 61730-2** „Způsobilost k bezpečné činnosti fotovoltaických modulů – Část 2: Požadavky na zkoušení“. [16] Tato část je zaměřena na zkoušení FV modulů a jejich požadavky, aby během životnosti poskytovaly bezpečnou elektrickou a mechanickou činnost. Je navržena tak, aby se části zkoušek mohly koordinovat s odpovídajícími částmi zkoušek uvedenými v IEC 61215 nebo IEC 61646, aby jednotlivé soubory vzorků mohly být použity k provedení jak bezpečnostního, tak výkonnostního hodnocení návrhů FV modulu. [16]

V legislativě lze dále nalézt normu **ČSN EN 50583-1** „Fotovoltaika v budovách – Část 1: Moduly BIPV“, [17] která se týká FV modulů integrovaných do obálky budovy. Zaměřuje se na vlastnosti těchto FV modulů, která se týkají základních požadavků uvedených v evropském nařízení o stavebních výrobcích CPR 305/2011 a platných elektrotechnických požadavků

uvedených ve směrnicih o nízkém napětí 2006/95 / ES nebo CENELEC. Dokument popisuje požadavky na FV moduly specifickými způsoby jejich montáže, nikoliv však samotnou montážní konstrukci, která spadá do působnosti normy **ČSN EN 50583-2** „Fotovoltaika v budovách – Část 2: Systémy BIPV“ zabývající se moduly BIPV v konkrétních případech, kde mají být namontovány. [18]

Poslední normu, kterou bych s tématech FVE zmínil, je **ČSN 33 2000-7-712** „Elektrické instalace nízkého napětí – Část 7-712: Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech – Fotovoltaické systémy“ [19], která se vztahuje k elektrické instalaci FV určenému k napájení celé nebo části instalace a dodávce elektrické energie do distribuční sítě nebo pro místní spotřebu. Požadavky této normy platí pro:

- FV zdroje pro napájení instalace, která není připojena k soustavě elektrické distribuční sítě,
- FV zdroje pro napájení instalace, která je připojena paralelně k soustavě elektrické distribuční sítě,
- FV zdroje pro napájení instalace jako náhrada soustavy elektrické distribuční sítě,
- vhodná kombinace výše uvedených. [19]

## 6 Zahraniční legislativa

Pokud se budeme bavit o požární bezpečnosti FVE v zahraničních legislativách, zjistíme, že jsou v tomto oboru podstatně napřed než v České republice. V zámoří se jedná o normy NFPA (National Fire Protection Association) používané ve Spojených státech amerických. V Evropě se této problematice věnují například ve Velké Británii, Itálii a Německu. Jelikož v Německu byla provedena požární zkouška celého FV panelu a legislativa je zde podrobně zpracovaná a veřejnosti nejsnáze přístupná, byla pro podrobnější porovnání s českou legislativou vybrána německá legislativa.

V Evropě existuje normalizační organizace CENELEC (Comite Europeen de Normalisation Electrotechnique) [2] komise EU jako jediná kompetentní pro normování v dané oblasti. CENELEC přijímá normy EN, které jsou závazné pro Evropu a spolupráce s mezinárodní elektrotechnickou komisí (IEC) probíhá způsobem, že CENELEC předloží nový normalizační projekt IEC se specifikací dokončení. Pro oblast fotovoltaiky existuje u CENELEC technický dozor „CLC4/TC 82.“ [2] Globální standardizaci provádí Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO) a Mezinárodní elektrotechnická komise (IEC). Příslušný výbor pro fotovoltaiku je v rámci technické komise IEC TC 82. Výsledky IEC jsou zveřejňovány jako normy IEC. [2]

### 6.1 Obecné informace

Při plánování a instalaci FV zařízení je nezbytné dodržovat instrukce požární ochrany. Obecně je nezbytné dodržovat požadavky na požární ochranu dle stavebních předpisů zemí, stejně jako další případné konstrukční požadavky, odborná pravidla požární ochrany a pravidla normy VDE-AR-E 2100.

Technická pravidla protipožárního plánování, zřizování a údržby fotovoltaických zařízení byla vydána v březnu 2011 Spolkovým svazem pro solární hospodářství (BSW), Německou společností pro sluneční energii (DGS), Centrálním svazem německých elektrotechnických a informačních řemesel (ZVEH), Profesionálním hasičským sborem Mnichov a Spolkovým sdružením specializovaných projektantů a odborníků v preventivní protipožární ochraně e.V. (BFSB). Byla rovněž odsouhlasena Pracovním společenstvím vedoucích hasičských sborů v Německu. [2]

### 6.2 Požadavky na požární bezpečnost a požární ochranu

V souvislosti s požadavky na požární bezpečnost zásadně platí, že instalací FV zařízení se nesmí snížit ochranná funkce střech a protipožárních stěn. Aby se požár budovy nerozšířil na další budovy či její části, stanovují příslušné stavební předpisy zemí (LBO), stejně jako řád vzorových

staveb (MBO) různé požadavky na budovy a střechy. Patří mezi ně zejména požadavek na „tvrdé zastřešení“ střech, stejně jako použití materiálů se zařazením třídy stavebních materiálů minimálně B2 „Normálně hořlavé“, třídy D2 dle DIN 4102 nebo třídy E dle EN 13501 u střešních řešení (tab. 2). Většina FV modulů s použitím skla může být zařazena do třídy B2, popř. E. Prodejci modulů by měli toto potvrzovat se souhlasným prohlášením výrobce (ÜH).

V „Informačním dokumentu DIBt pro výrobu, plánování a realizaci solárních zařízení“ 5/2012 se mimo jiné uvádí: „Solární zařízení musí sestávat minimálně z normálně hořlavých materiálů (§ 26 odst. 1 MBO). Jsou-li instalovány přímo v plášti či na plášti budovy, musí být povrch vnějších stěn, stejně jako obložení stěn budov třídy 4 a 5 nesnadno vznětlivé (§ 28 odst. 3 věta 1 MBO). Konstrukční díly s hořlavými materiály se nesmí používat u protipožárních stěn (§ 30 odst. 5 věta 1 bod 2, odst. 7 věty 1, 2 MBO).“ V MBO je dále definováno provedení protipožárních stěn a vzdálenosti mezi tzv. normálně hořlavými materiály a protipožárními stěnami. Tím by se mělo zabránit šíření požáru způsobením odletujících jisker nebo sálavému teplu. MBO tak v § 32 a dalších předepisuje, že střešní konstrukce z hořlavých materiálů se musí nacházet minimálně 1,25 m od protipožárních stěn. To platí obdobně i pro FV moduly a další komponenty daného zařízení. Další předpisy jsou k nalezení v DIN 4120. Stěny, vnější obložení, střešní konstrukce a střešní krytiny, ale i vedení a elektroinstalace patří ke konstrukčním dílům a stavebním materiálům, které musí splňovat dané požadavky požární ochrany. Jako opatření pro klasifikaci stavebních materiálů slouží klasifikace stavebních materiálů dle jejich chování při hoření a rozdělení konstrukčních dílů do tříd reakce na oheň (tab. 2). [2, 13, 20]

Původně: DIN 4120 Třída	Popis	Nově: DIN EN 13501 Třída	Paralelní jevy požáru
	nehořlavé materiály		
A1	přípustná malá množství organických látek	A1	
A2	malá množství hořlavých látek	A2	s1 d0
	hořlavé stavební materiály		
B1	špatně vznětlivé	B	s1 d0 bis s3 d2
	špatně vznětlivé, přeskočení ohně	C	s1 d0 bis s3 d2
B2	normálně vznětlivé	D	s1 d0 bis s3 d2
	špatně vznětlivé, přeskočení ohně	E	d2
B3	snadno vznětlivé (ve stavebnictví se nesmí používat)	F	neurčeno

s1 = žádné omezení viditelnosti způsobené kouřem

s2 = omezení viditelnosti způsobené kouřem

s3 = silné omezení viditelnosti způsobené kouřem

d0 = žádné hořící kapky nebo částice

d1 = hořící kapky nebo částice během maximálně 10 s (během 10minutového testu)

d2 = hořící kapky nebo částice déle než 10 s (během 10minutového testu)

tab. 2 Třídy stavebních materiálů dle DIN 4102 a DIN EN 13501 [2, 20]

DIN 4102 rozděluje stavební materiály do tříd A (hořlavé) a B (nehořlavé), ale následně tomu slouží nová evropská norma DIN EN 13 501 „Klasifikace stavebních materiálů a typů konstrukce dle jejich chování při požáru“, která nahrazuje pět tříd stavebních materiálů DIN sedmi třídami a zohledňuje vývoj dýmu, stejně jako chování při odkapávání jako paralelní jevy požáru. Dle DIN 4102 se konstrukční prvky rozdělují při klasifikaci nebo na základě požárních zkoušek do pěti tříd požární odolnosti a sice F30, F60, F90, F120, F180, které určují minimální dobu v minutách, během níž musí konstrukce odolat teplotnímu namáhání při požáru. V souvislosti se zkouškami FV modulů je potíží v tom, že zkoušky normální hořlavosti třídy E dle EN 13 501 probíhají dle testu EN ISO 11925-1 v příliš malé požární komoře pro standartní moduly. Test dle EN ISO 11925-2 probíhá na definovaných zkušebních tělesech s rozměry 0,09 x 0,25 m. Většina zkušebních institucí netestuje celé moduly, jelikož vyžaduje menší rozměry FV modulů. Společnost TÜV-Reinland e.V. vyvinula ve spolupráci s Currenta test s velkou požární komorou, při němž lze provést požární zkoušky celých FV modulů. Typické moduly se skleněnou EVA fólií jsou normálně hořlavé dle třídy B2 (DIN 4102), popř. dle třídy E (EN 13 501). Toto se musí prokázat s pomocí prohlášení výrobce dle seznamu stavebních předpisů B část 2, pokud se FV moduly používají na obálce budovy. Předpisy MBO požadují, aby byla zastřešení odolná proti odlétávajícím jiskrám a sálajícímu teplu. Jako „tvrdé zastřešení“ musí FV moduly instalované na střeše tuto podmínku splňovat a prokázat to všeobecným stavebním certifikátem. Musí se přitom dbát, aby konstrukce pro „tvrdé zastřešení“ byla co možná nejreprezentativnější, což je zjišťováno v kombinaci se střešní konstrukcí. FV moduly se skládají převážně z nehořlavých materiálů (sklo, křemík, hliník), ale i z normálně hořlavých materiálů jako je pryskyřice, plast a dosahují většinou třídy B2 nebo i B1 dle DIN 4102. Zařazení těchto zařízení do třídy A není možné právě kvůli obsaženým plastům ve skladbě modulu. [2, 13, 20]

### 6.2.1 Předpisy a normy

FV moduly s instalovaným sklonem menším než 75° musí dodržovat evropskou směrnici o nízkém napětí 2006/95/ES a prokazovat to pomocí značky CE, která se používá s certifikací dle IEC 61215 pro krystalické křemičité FV moduly, popřípadě IEC 61248 pro tenkostěnné FV moduly, stejně jako IEC 61730, dle bezpečnostní normy pro FV moduly. Doklad o použitelnosti FV modulu a typu konstrukce FV zařízení je nezbytný pro jeho schválení, což se týká jak konstrukce samotných FV modulů, tak i jejich upevnění a chování v případě požáru. Skutečnost udává fakt, že většina FV modulů vyskytujících se na trhu nemá stavební schválení. Dle technických pravidel týkajících se konstrukcí ze skla se musí realizovat speciální konstrukce modulů nebo musí být v jednotlivých případech u vrchních orgánů stavebního dozoru země zajištěn jejich souhlas.

Zřízení FV zařízení a jejich instalace se provádí dle stávajících VDE, zejména dle norem VDE 0100 „Zřizování silnoproudých zařízení se jmenovitým napětím do 1 000 voltů“, VDE 0126-23 „Do sítě připojené FV systémy – minimální požadavky na systémovou dokumentaci, kontrola uvedení do provozu a opakované zkoušky“, VDE 0105 „Provoz elektrických zařízení“ a VDE 0298 „Používání kabelů a izolovaných vedení pro silnoproudá zařízení“. Zvláštní požadavky na FV zařízení formuluje VDE 100 část 712 „Fotovoltaické napájecí systémy“ (IEC 60364-7-712). Normy pro komponenty FV systému, schválení jeho typu včetně konstrukce, certifikaci a kontrolu FV modulů, případně střídačů (měničů) jsou obsaženy v normách DIN. [2, 20]

### 6.3 Ochrana zasahujících jednotek požární ochrany

Obecně platí, že instalace FV systémů nesmí v případě požáru v budově způsobit žádné nebezpečné dotykové stejnosměrné napětí, aby byla zajištěna co největší bezpečnost pro záchranu a členy zasahujících jednotek požární ochrany. Tohoto cíle ochrany lze dosáhnout:

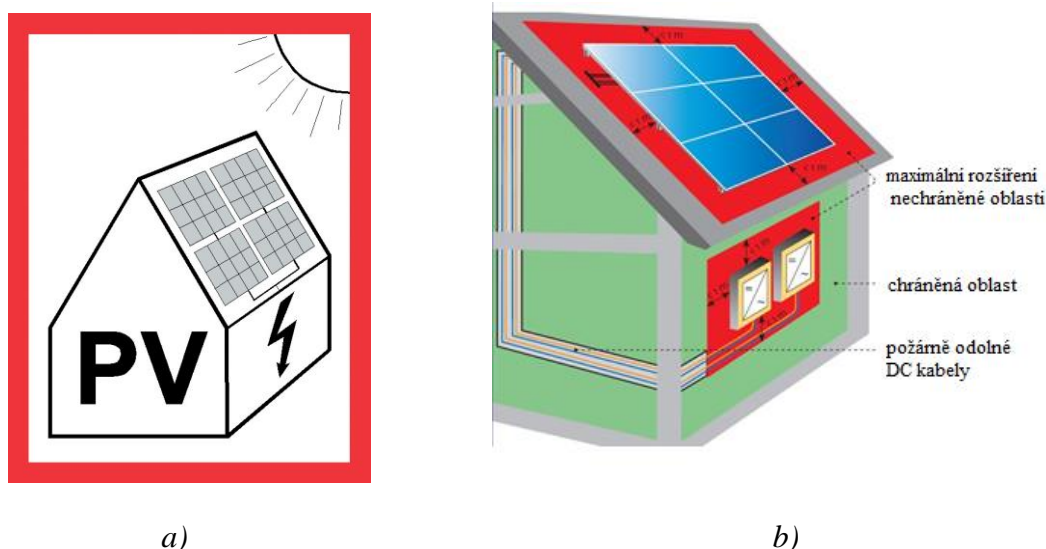
- organizačním opatřením, jako je:
  - identifikace FV systému v servisní přípojce a rozdělení objektu pomocí značení (Obr. 11a), označení by nemělo být menší než DIN A6 pro servisní připojení,
  - plán pro záchranné složky (*viz kapitola Přehled plánu pro záchranné složky*),
  - doplnění stávajících plánů požární ochrany,
- strukturálním opatřením, jako je:
  - požární odolnost DC kabelů či jejich pokládání do požárně odolných boxů nebo
  - instalace střídačů do venkovního prostoru nebo přímo u vchodu do budovy, takže v budově musí být položeno pouze vedení střídavého proudu,
- technickým opatřením, jako je:
  - odpojovač stejnosměrného proudu s dálkovým ovládním pro hasičské záchranné jednotky v oblasti hlavního rozvaděče budovy [13, 20].

#### 6.3.1 Přehled plánu pro záchranné složky

Hasiči často musí vstoupit do hořící budovy, aby provedli efektivní protipožární zásah a bezpečnou záchranu lidí. Je třeba tedy přijmout různá opatření k jejich ochraně bezpečnou instalací neodpojitelných DC kabelů v budově. V případě poškození izolace požárem může v kabelových



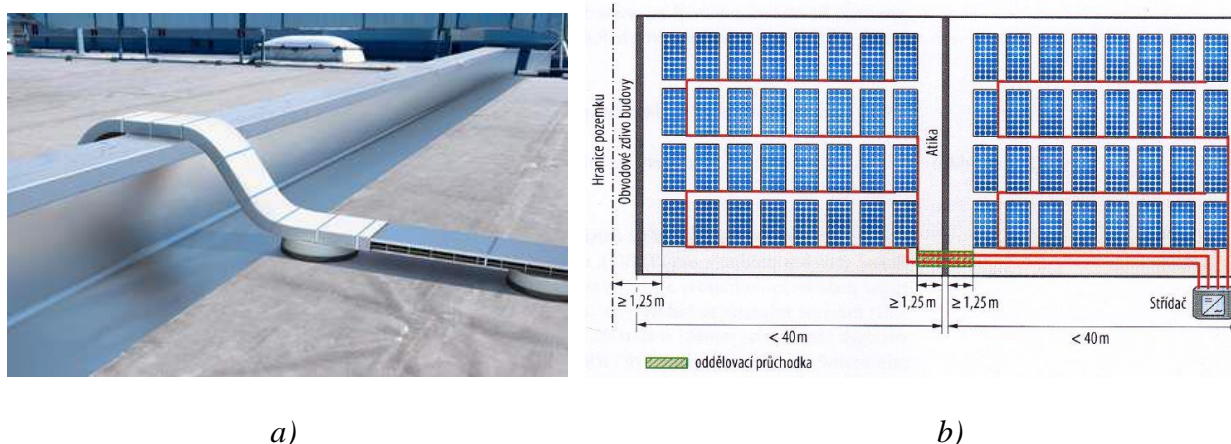
oblastech FV systému vznikat dotykové napětí. Tyto oblasti musí být realizovány ve vzdálenosti nejvýše 1 m od střídače nebo 1 m kolem FV generátoru. Kromě těchto zásad by měly být vedené DC kabely s požární odolností (Obr. 11b). [20]



Obr. 11 a) Informační značka, b) Schéma bezpečné instalace DC kabelů v budově [13, 20]

DC kabely o délce větší než 1 m umístěné v budově, které nelze odpojit, by měly mít požární odolnost. Často nelze instalovat požárně odolné kabely přímo u generátoru FV systému a přímo na vstupu měniče. Tyto dvě nechráněné oblasti (Obr. 11b) by neměly překročit maximální prodloužení 1 m kolem generátoru nebo měniče. Musí být dodrženy příslušné předpisy LBO a MLAR a nesmí dojít k instalaci ve stupních prostorech a schodištích dle MBO. Při vstupu DC kabelů na střechu a do střídače by měly být umístěny DC-izolátory, pokud musí být v budově instalováno více než 1 m nehořlavých stejnosměrných vedení. [13, 20]

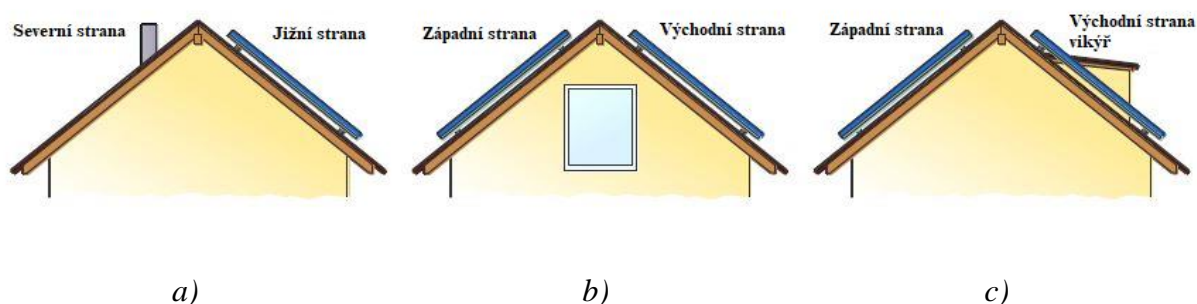
Pokud jsou na střeše DC kabely vedeny přes požárně dělicí konstrukce například přes atiku, je nutné umístit kabely FV systému do požárně odolných kastlíků (Obr. 12a). V případě, kdy kabeláž FV systému prochází skrze požárně dělicí konstrukci je potřeba dodržet zásady pro protipožární opatření například pomocí oddělovací průchodky (Obr. 12b). Pokud by se tato opatření opomenula, může dojít k nebezpečí šíření požáru na konstrukce vedlejšího požárního úseku. S tímto souvisí výška požárně dělicí konstrukce nad normálně hořlavými materiály, která činí 300 mm. Když jsou na střeše instalovány FV panely znamená to, že výška 300 mm se musí měřit od horní hrany FV panelu. Ovšem, pokud jsou FV panely instalovány nad střešním pláštěm v různých výškových úrovních, například kvůli stínění, musí být 300 mm měřeno od FV panelu, který má hranu rámu od střešního pláště nejvýš. Jestli se tento panel či panely budou nacházet ve vzdálenosti větší než 1,25 m od požárně dělicí konstrukce není požadavkem, aby požárně dělicí konstrukce převyšovala o 300 mm nad horní hranu takto umístěného panelu. [2, 13, 20]



Obr. 12 a) Protipožární opatření kabeláže FV systému v místě požárně dělicí konstrukce [13], b) Průchod elektroinstalace požárně dělicí konstrukcí a vzdálenosti modulů od požárně dělicích konstrukcí a hranic pozemku [2]

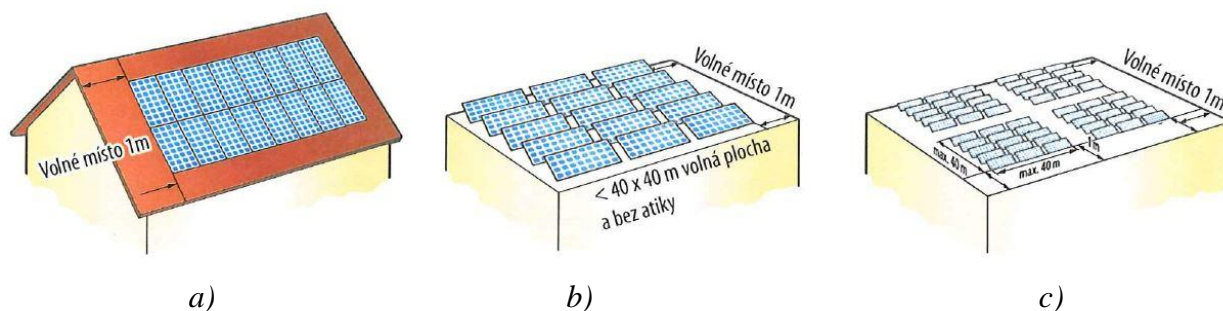
### 6.3.2 Plánování požární ochrany fotovoltaických systémů na střeše budovy

V případě požáru se musí jednotky požární ochrany dostat rychle a bezpečně k ohnisku požáru. V některých situacích je nezbytné pro přístup na střechu a do podstřešních prostor využít vnější zásahové cesty. V těchto případech může dojít instalací FVE ke ztížení podmínek pro efektivní protipožární zásah zvláště v případě, kdy FV panely jsou instalovány v celé ploše střechy, čemuž by se mělo zabránit už v projektové fázi FV systému. [13, 20]



Obr. 13 Možnosti přístupu pro likvidaci požáru na šikmé střeše [13]

- a) instalace FV systému na jižní polovině střechy
- b) instalace FV systému na obou polovinách střechy (okno ve štítu)
- c) instalace FV systému na obou polovinách střechy (okno ve vikýři)



Obr. 14 Možnosti přístupu pro likvidaci požáru:

- a) oboustranná instalace FVE na šikmé střeše,
- b) středně velká instalace FVE na ploše střechy menší než 40 x 40 m,
- c) velkoprostorová instalace FVE na ploše střechy větší než 40 x 40 m [13]

V případech, kdy je šikmá střecha orientována sever/jih (Obr. 13a), mohou se příslušníci jednotek požární ochrany dostat do střešní konstrukce přes tu polovinu střechy, na které není instalován FV systém, což je zpravidla severní polovina střechy a bezpečně tak zahájit likvidaci požáru s dostatečným odstupem od zařízení pod napětím. U střech orientovaných východ/západ se většinou setkáme s instalací FV systému na obou polovinách střechy, kde v těchto případech musí být zajištěn jiný přístup. Jedním z návrhů může být okno ve štítu objektu, které by mělo mít minimální šířku 0,9 m a výšku 1,2 m (Obr. 13b). Samozřejmě může nastat situace, kdy není možné umístění okna do štítu ať už kvůli požárně nebezpečnému prostoru či jiných požadavků. V tomto případě může být možností umístit okna ve vikýři, který je orientovaný buďto na východní nebo západní polovině šikmé střechy (Obr. 13c). [13]

Pokud nastane situace taková, že přístup ke krovu není možný ani přes polovinu střechy na níž není FVE instalována ani pomocí oken ve štítu či vikýři je potřeba zajistit, aby část střechy zůstala bez FV panelů. Pro členy zasahujících jednotek požární ochrany může být nápomocný volný pruh široký minimálně 1 m Obr. 14a). [13]

U střech, které nemají žádný jiný přístup a jedná se o takzvané malorozměrové instalace FVE na střeše o ploše menší než 40 x 40 m, by se měl na straně delšího rozměru střechy ponechat volný pruh široký 1000 mm (Obr. 14b). Nastane-li varianta, kdy je FVE instalována na střeše s plochou střechy větší než 40 x 40 m, jedná se už o takzvanou velkoprostorovou instalaci FVE. U těchto instalací je potřeba rozdělit sekce FV panelů tak, aby jedna sekce tvořila plochu o rozměrech maximálně 40 x 40 m a mezi danými sekcemi by měly být realizovány volné pruhy o velikosti minimálně 1 m.

### 6.3.3 Zařízení a vedení s napětím do 1000 V

Obecné nebezpečí, které existuje v elektrických systémech, je riziko překročení napětí elektricky vodivých částí systému nebo přenosu elektrického proudu do vody, zejména při hašení vodou. Obvykle platí, že u elektrických zařízení s elektrickým napájením platí jak pro přímé, tak i pro hasicí opatření, aby se zabránilo riziku úrazu elektrickým proudem. FV systémy patří podle definice k nízkonapěťovým systémům podle VDE 0132 (AC <1000 V, DC <1500 V). [13]

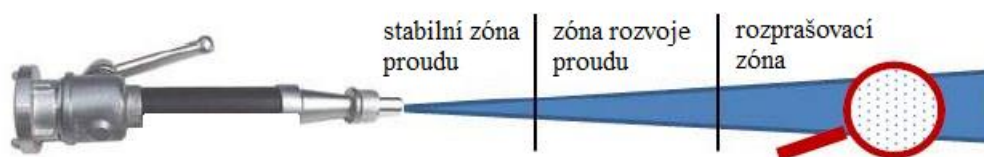
FV systémy jsou v současné době navrženy pro maximální napětí systému 1000 V DC. Zaznamenává se zvýšení maximální hodnoty na 1500 V DC. Skutečná hodnota napětí pro fotovoltaickou elektrárnu závisí na délce kabeláže a na výkonech používaných FV modulů. V případě malých a středních fotovoltaických systémů, které jsou obvykle instalovány na budovách, lze obecně očekávat systémové napětí menší než 1000 V. Za účelem obecně platných výsledků byla jako maximální hodnota, která je v současné době možná pro provedené testy, použita 1000 V. Nebezpečí pro lidi však není přímo z napětí, ale z elektrického proudu, který proudí tělem kvůli rozdílu napětí. Porovnáním údajů časového rozsahu průtoku proudu lidským tělem se ukázalo, že střídavý proud vede ke kritickým účinkům při mnohem nižších hodnotách než stejnosměrný proud. Je to proto, že střídavé proudy při každé změně polarity narušují nervové a svalové struktury, včetně srdce. Největší nebezpečí spočívá v kmitočtovém rozsahu od 50 Hz do 60 Hz. Pro stejnosměrný proud lze předpokládat přibližně čtyř až pětinašobek hodnoty příslušné mezní hodnoty střídavého proudu. [13] Aby se zabránilo proudění nebezpečných proudů tělem při hašení živých částí systému, dle DIN VDE 0132 - Požární ochrana a pomoc v oblasti elektrických zařízení – se doporučují minimální vzdálenosti mezi výstupem hasicího zařízení a živými částmi systému (tab. 3). [13]

<b>Proud vody DIN 14365-CM</b>	<b>Nízké napětí ≤ AC 1 kV nebo ≤ DC 1,5 kV</b>	<b>Vysoké napětí &gt; AC 1 kV nebo &gt; DC 1,5 kV</b>
sprchový	1 m	5 m
plný	5 m	10 m

tab. 3 Minimální vzdálenosti hasicího zařízení a zařízení pod napětím [13]

Tyto vzdálenosti jsou v zásadě založeny na standardizovaných víceúčelových C proudnicích podle DIN 14365-CM s průměrem náustku 9 mm a tlakem 5 barů. Standardní hodnoty se však vztahují i na větší hasicí zařízení, jestliže jejich proudnice odpovídají normě DIN 14365-2 z hlediska elektrické bezpečnosti. [13] Abychom porozuměli těmto normativním omezením, je potřeba zvážit strukturu proudu vody. Rozlišují se tři zóny (Obr. 15). Oblast kompaktního vodního paprsku je okamžitě po vypuštění hasicího zařízení označována jako stabilní zóna. V následující oblasti rozvinovacího pásma se tryska rozpustí na malé kapičky. Poté, co dosáhne kvality

elektricky oddělených kapiček, mluvíme o rozprašovací zóně, která se stále zdá lidskému oku kompaktní. [13]



Obr. 15 Schématické znázornění vývoje proudu vody [13]

Zkušební metoda standardu DIN 14365 popisuje zkušební sestavu, při níž jsou měřeny poklesy napětí různých odporů při proudu vody na ocelový rošt pod napětím. Kromě normy DIN 14365 popisuje norma EN 15182 [13] produktový standard, který se bohužel nevztahuje na stanovení svodových proudů. Existuje pouze doporučení, které uvádí, že je třeba dodržet vzdálenost nejméně 1 m při úhlu stříkání alespoň 30 °. Nový standard požaduje, aby výrobci nových proudnic, které nebyly testovány na elektrickou bezpečnost podle starého DIN 14365 část 2, prokázaly svou vhodnost pro hašení elektrických instalací pod napětím. Není-li výrobce schopen poskytnout informace o elektrické bezpečnosti, mohou být tyto proudnice používány pouze v beznapěťových elektrických systémech.



Obr. 16 Experiment se simulovaným tělesným odporem pro měření svodových proudů [13]

## 7 Požární zkouška FV panelu

### 7.1 Motivace pro požární zkoušku

Aby se mohlo zjistit a ověřit chování FV panelů při požáru byla v rámci diplomové práce provedena požární zkouška FV panelu. Z požární zkoušky se následně získají data potřebná pro následující jednoduché CFD modely, aby mohl být vymodelován požár ideálního FV panelu. Zjištěnými výsledky je možné přispět do této problematiky v podobě stanovení odstupových vzdáleností od tohoto technologického zařízení a následné zásady pro umístování FV panelů z hlediska odstupových vzdáleností.

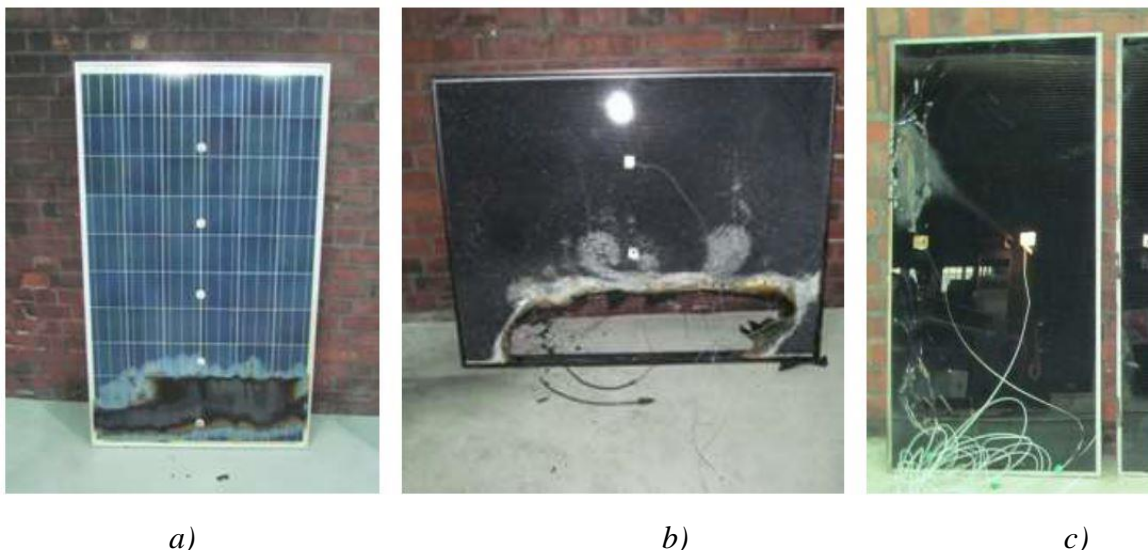
### 7.2 Podklady a inspirace – zkouška TÜV Rheinland

Inspirace pro požární zkoušku FV panelu byla brána z výsledků a zkoušek hořlavosti FV panelů, které byly provedeny v německém institutu TÜV Rheinland ve spolupráci s Currenta. Byly provedeny celkem tři experimenty, a to způsobem odlišných výkonů hořáků, které sloužily k zapálení FV panelu. [13]

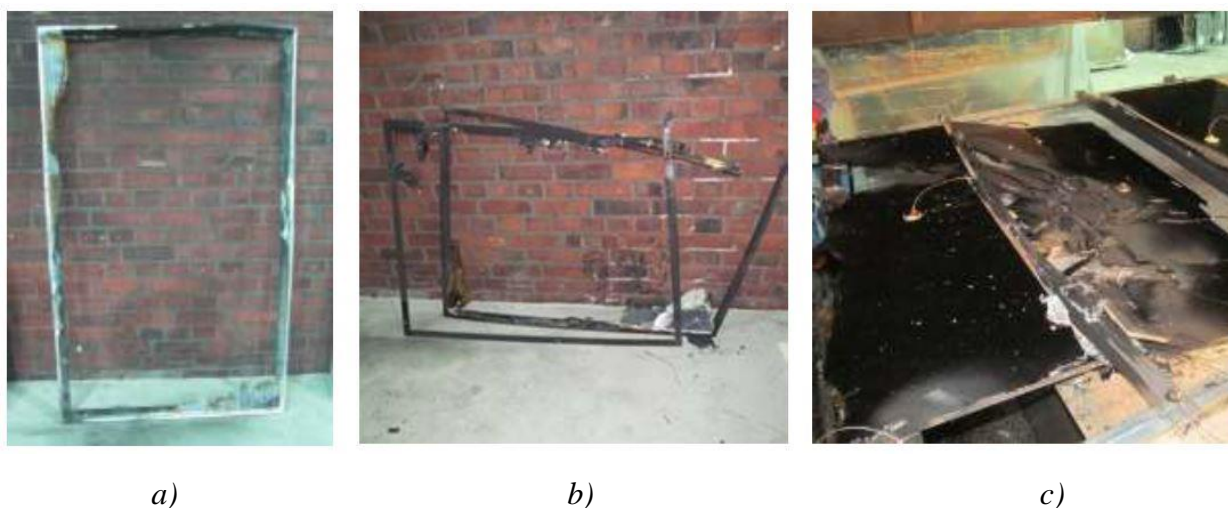
Prvním experimentem (experiment A) byla zkouška, při které byl použit výkon hořáku 25 kW a doba experimentu trvala 1200 s. Při této zkoušce došlo pouze k malému povrchnímu poškození FV panelů (Obr. 17). [13]

Druhý experiment (experiment B) spočíval ve výměně hořáků. Zde byl pro zapálení FV panelu použit hořák s výkonem 150 kW. Doba trvání experimentu byla rovněž 1200 s. V tomto případě došlo k úplnému poškození FV panelu. Výsledky experimentu panelu C-Si jsou znázorněny v tab. 4, 5, 6, kde je vidět, jaká byla maximální hodnota rychlosti uvolňování tepla panelu při výkonu hořáku 150 kW a další požárně technické charakteristiky zjištěné při experimentu. Při tomto experimentu došlo k úplnému poškození panelů v celé jejich ploše, jak je vidět na Obr. 18. [13]

V případě třetího experimentu (experiment C) byl použit stejný hořák se stejným výkonem jako při druhém experimentu s tím rozdílem, že po uběhnutí 6 až 7 minut testovací doby se začal FV panel hasit vodou po dobu 45 s, což stačilo k tomu, aby se požár panelu podařilo uhasit, a tak třetí zkouška skončila po 7 minutách od zapálení panelu. [13]



Obr. 17 Poškození FV panelů po použití hořáku s výkonem 25 kW; a) panel C-Si; b) panel CIS; c) panel CdTe [13]



Obr. 18 Poškození FV panelů po použití hořáku s výkonem 150 kW; a) panel C-Si; b) panel CIS; c) panel CdTe [13]

### 7.2.1 Postup experimentu

FV panely byly namontovány na 0,040 m vysokých nosnících k nosné cementové desce umístěné na horizontální zkušební plošině o sklonu 23°. Sklon byl zvolen analogicky ke zkoušce střešního požáru podle UL 790. [13] Moduly vyčnívají 0,45 m za přední hranu nosné desky a v této oblasti je na spodní straně zdroj požáru. Zdroj zapálení byl plynový hořák, který vytváří plamen široký 1 m. Hořák byl umístěn 0,1 m pod spodní hranou panelu, vodorovná vzdálenost k přední hraně panelu byla také 0,1 m. Na přední a zadní straně modulu bylo uspořádáno pět termočlánků podél podélné osy modulu. Vzdálenosti k přední hraně modulu byly 10, 40, 70, 100 a 130 cm. Pro zkoušku zhasení vodou byly v horní části zkušebního zařízení instalovány dvě hasicí trysky

v prostoru mezi panelem a nosnou deskou. Na podlahu testovací haly byla umístěna ocelová nádrž o rozměrech  $1,75 \times 1,50$  m pro zachycení hasící vody. [13]

## 7.2.2 Výsledky

Během těchto požárních zkoušek byly zaznamenávány různé požárně technické charakteristiky a mechanické vlastnosti použitých FV panelů. Jedná se především o rychlost uvolňování tepla, rychlost tvorby kouře, celkové uvolněné teplo, hmotnost vzorku před a po zkoušce apod. Při zkouškách s výkonem hořáku 25 kW došlo pouze k lokálnímu poškození u všech tří typů modulů (Obr. 17). Při výkonu hořáku 150 kW byly moduly zničeny na celé ploše (Obr. 18). [13]



Obr. 19 Požární zkouška FV panelu; a) hořák 25 kW; b) hořák 150 kW [13]

	Experiment 1A	Experiment 1B	Experiment 1C
Doba trvání zkoušky [s]	1200	1200	600
Maximální rychlost uvolňování tepla [kW]	29,2	246,6	272,9
Průměrná rychlost uvolňování tepla [kW]	6,4	49,3	46,2
Celkové uvolnění tepla [kJ]	7631	59197	27747
Maximální rychlost tvorby kouře [m <sup>2</sup> /s]	0,12	0,78	2,05
Průměrná rychlost tvorby kouře [m <sup>2</sup> /s]	0,03	0,15	0,12

tab. 4 Požárně technické charakteristiky panelu C-Si [13]

	Experiment 2A	Experiment 2B	Experiment 2C
Doba trvání zkoušky [s]	1200	1200	600
Maximální rychlost uvolňování tepla [kW]	41,7	184,1	186,3
Průměrná rychlost uvolňování tepla [kW]	8,1	70,6	29,2
Celkové uvolnění tepla [kJ]	9699	84712	17506
Maximální rychlost tvorby kouře [m <sup>2</sup> /s]	0,34	0,92	2,94
Průměrná rychlost tvorby kouře [m <sup>2</sup> /s]	0,08	0,30	0,46

tab. 5 Požárně technické charakteristiky panelu CIS [13]



	Experiment 3A	Experiment 3B	Experiment 3C
Doba trvání zkoušky [s]	1800	1200	600
Maximální rychlost uvolňování tepla [kW]	15,3	66,5	88,2
Průměrná rychlost uvolňování tepla [kW]	0,4	13,2	16,3
Celkové uvolnění tepla [kJ]	785	15809	9786
Maximální rychlost tvorby kouře [m <sup>2</sup> /s]	0,08	0,23	0,87
Průměrná rychlost tvorby kouře [m <sup>2</sup> /s]	0,003	0,11	0,14

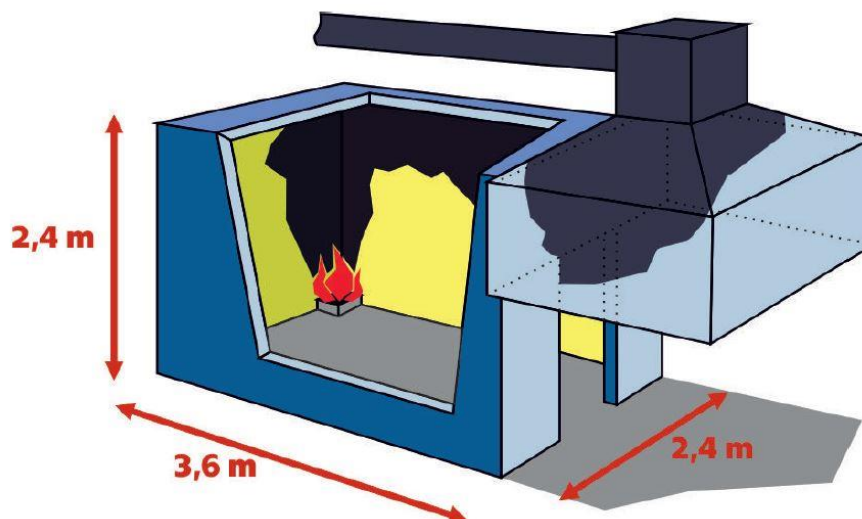
tab. 6 Požárně technické charakteristiky panelu CdTe [13]

## 7.3 Požární zkouška UCEEB

V rámci prohloubení znalostí a přispění dalších výsledků z požární zkoušky FV panelu do problematiky požární rizika FVE na střeše budovy se v rámci této diplomové práce provedla dne 31.10.2018 požární zkouška monokrystalického FV panelu v požární laboratoři univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT v Praze (UCEEB).

### 7.3.1 Požární laboratoř

Součástí požární laboratoře, kde byla prováděna požární zkouška monokrystalického FV panelu, je zkušební zařízení, které tvoří požární komoru o rozměrech 2,4 x 3,6 m a výšky 2,4 m (Obr. 20), kde se provádí velkorozměrové zkoušky s reálnými požárními scénáři. Dále je součástí zařízení odsávací zvon a potrubí, ve kterém je umístěno zařízení pro měření požárně technických charakteristik jako jsou rychlost uvolňování tepla, optická hustota kouře a složení zplodin. Následují měřidla teploty, tepelného toku, rychlosti proudění plynů a šíření plamene po povrchu. Pro určení HRR se používá přímé měření rychlosti uvolňování tepla metodou kalorimetrie založené na spotřebě kyslíku. Součástí laboratoře je zápalný zdroj v podobě regulovatelného plynového hořáku o tepelném výkonu 1 až 300 kW. Určení dalších výše popsanych požárně technických charakteristik se provádí například pomocí termočlánků sloužící pro určení teploty v prostoru či povrchové teploty. Pro stanovení průběhu tepelného toku v dané vzdálenosti v určitém bodě prostoru slouží radiometry. Dále jsou součástí zařízení analyzátory O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, přístroje pro měření optické hustoty kouře a infračervené spektrální analýzy zplodin hoření. [21]



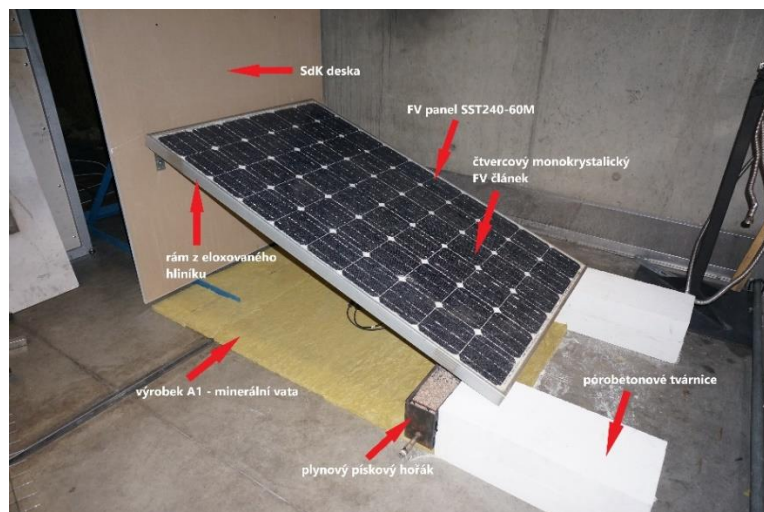
Obr. 20 Schéma zkušebního zařízení UCEEB [21]

### 7.3.2 Příprava a průběh požární zkoušky

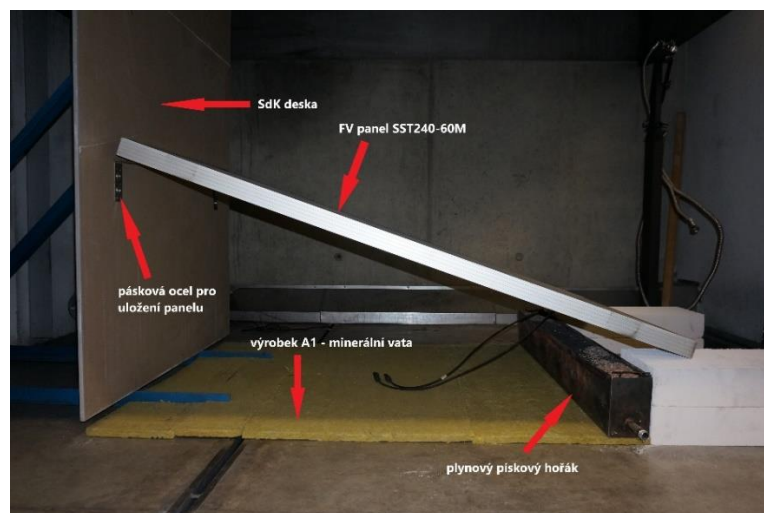
Pro požární zkoušku byl použit FV panel typu SST240-60M, který je tvořen 60 čtvercovými monokrystalickými FV články o rozměrech 156 x 156 mm uspořádaných v síti 6 x 10. FV články jsou zapouzdřeny EVA fólií, přední kryt tvoří tvrzené bezpečnostní sklo o tloušťce 3,2 mm a zadní kryt tvoří nejčastěji plastová deska. Rozměry panelu jsou 1640 x 990 x 50 mm (d x š x výška rámu) a materiál rámu je eloxovaný hliník.

FV panel byl následně umístěn pod odsávací zvon zkušebního zařízení ve sklonu  $23^\circ$  (Obr. 21). Ve spodní části byl FV panel podložen pórobetonovými tvárniciemi do výšky 150 mm, aby se následně mohl pod panel umístit plynový pískový hořák o výkonu 50 kW, čímž byla simulována situace, kdy může dojít k zahoření plastového S-boxu umístěného pod FV panelem. Hodnota výkonu hořáku byla stanovena odhadem na základě podobných elektrotechnických zařízení, u kterých byly v minulosti provedeny požární zkoušky. V horní části byl FV panel uložen na dva držáky z páskové oceli, které byly ukotveny pomocí vrutů do sádrokartonové desky, jež byla pomocí ocelových vzpěr připevněna do svislé polohy. Aby nedošlo k poškození podlahy laboratoře, byla pod panel umístěna minerální vata, jakožto výrobek třídy reakce na oheň A1. Z důvodu získání povrchových teplot na panelu pro CFD model byla horní plocha panelu rozdělena na malé plošky pomocí karisítě s roztečí ok 50 x 50 mm (Obr. 22b), která byla pomocí vázacích drátů a vrutů uchycena ke konstrukci panelu a sádrokartonové desce. Pro zjištění povrchových teplot bylo použito celkem šest termočlánků umístěných uprostřed dané plošky. Tři termočlánky byly umístěny v řadě nad hořákem a další tři byly rozmístěny ve spodní části panelu. Uspořádání termočlánků (TC1-TC4 a TC11-TC16) je znázorněno na Obr. 22. Pro měření teplot

nad panelem byly ve výšce 500 mm nad horní hranou panelu instalovány termočlánky TC1-TC4 a sice nad středem panelu, oběma kraji panelu a hořákem (Obr. 22). Aby se zjistil průběh tepelného toku během požární zkoušky, byly na ocelovém stojanu ve vodorovné vzdálenosti od spodní hrany panelu 500 mm uchyceny dva přístroje pro měření radiace RM1 a RM2, z nichž první byl umístěn v úrovni spodní hrany panelu a druhý v úrovni poloviny délky panelu (Obr. 22).

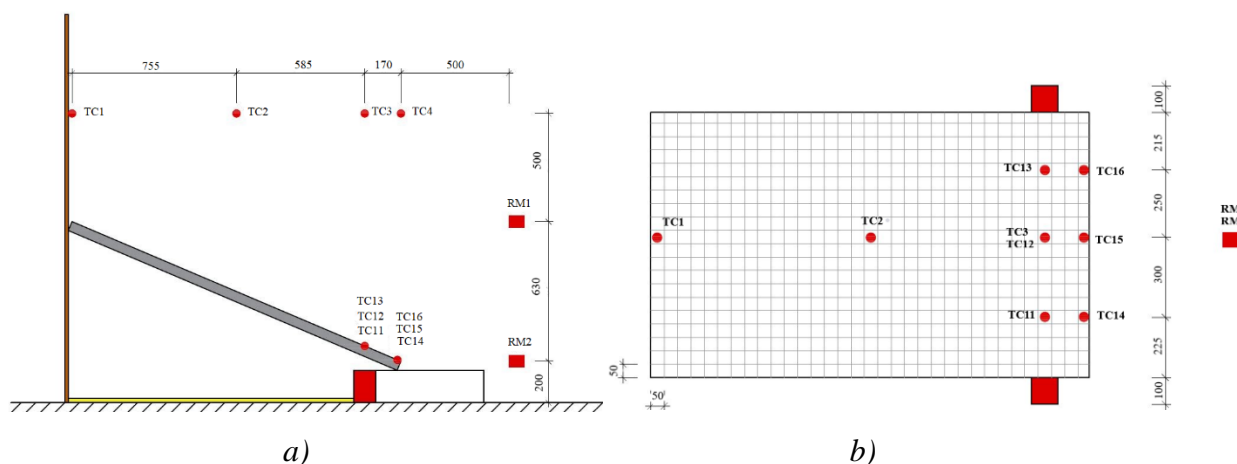


a)



b)

Obr. 21 a), b) Umístění FV panelu pod odsávací zvon ve sklonu 23 °



Obr. 22 Požární zkouška FV panelu UCEEB a) pohled; b) půdorys

Po zapálení hořáku o výkonu 50 kW dochází k zahřívání spodního krytu a postupnému odhořívání vrstev panelu. Přibližně po oběhnutí 1 minuty došlo v části panelu k odhoření EVA fólie a zároveň k odkapávání hořících částí panelu. Po uběhnutí 2 minut prohořela část panelu až k hornímu povrchu. Následně byly jednotlivé vrstvy panelu zahřívány z více stran, což mělo za důsledek uvolňování a odpadávání větších ploch panelu o velikosti přibližně jednoho FV článku. V této chvíli byla požárem zasažena asi 1/10 panelu. V čase 5,5 minut došlo k maximální rychlosti uvolňování tepla  $HRR = 78,19 \text{ kW}$  a byla poškozena přibližně 1/7 panelu a dohoření bylo zaznamenáno v čase 11 minut a 30 sekund. Poté, po dobu 2 minut, nebyla vidět známka šíření požáru po panelu. V čase 13 minut a 30 sekund došlo k prohoření a následnému rozvoji požáru na další části panelu. V tento okamžik byla poškozena cca 1/5 panelu. Požár této části panelu trval 6 minut a 30 sekund, a poté následně k dalšímu šíření požáru nedošlo. Doba trvání zkoušky byla 30 minut s tím, že FV panel hořel 20 minut a v tuto dobu byl zároveň odpojen zápalný zdroj, a tudíž rostoucí hodnoty HRR po 20. minutě na Obr. 24 a Obr. 25 jsou nerelevantní.

### 7.3.3 Výsledky

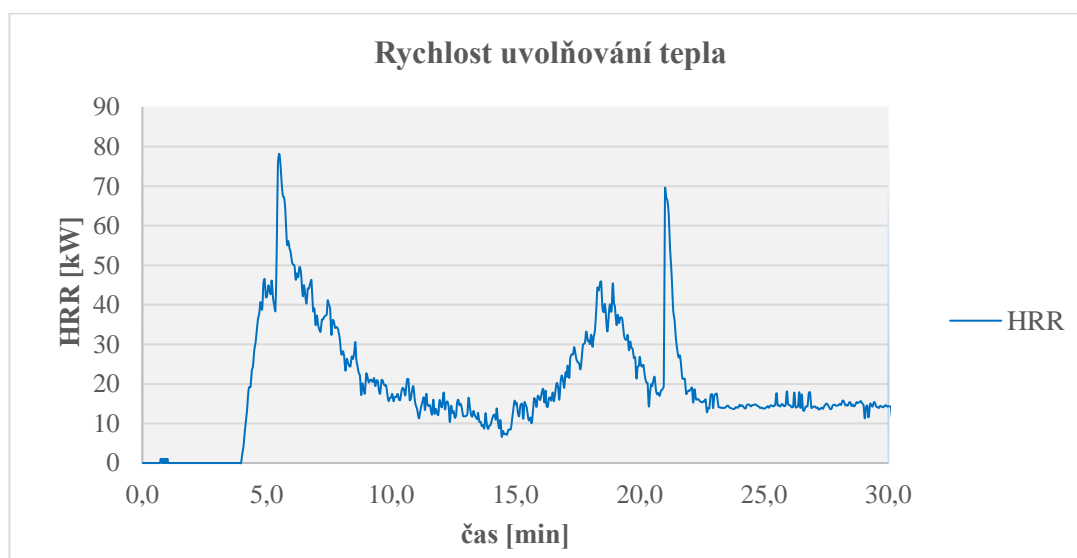
Po skončení požární zkoušky byl FV panel poškozen přibližně ze 35 % celkové plochy (Obr. 23). Při pohledu na poškozený panel je zajímavé, že spodní část horního povrchu panelu je téměř požárem nepoškozena, což mohlo být pravděpodobně zapříčiněno polohou hořáku vůči panelu, který nebyl přímo v kraji panelu, a nebyla tak tato část zespodu natolik zahřívána, aby došlo k jejímu vzplanutí. Podle naměřených povrchových teplot na termočláncích TC14-TC16 (Obr. 22) umístěných právě na nepoškozené části panelu lze konstatovat, že teplota vzplanutí povrchu panelu je vyšší než  $195 \text{ }^\circ\text{C}$ , jelikož maximální povrchová teplota u TC16 byla  $195,6 \text{ }^\circ\text{C}$ . Další naměřené hodnoty během požární zkoušky jsou zaznamenány v tab. 7.



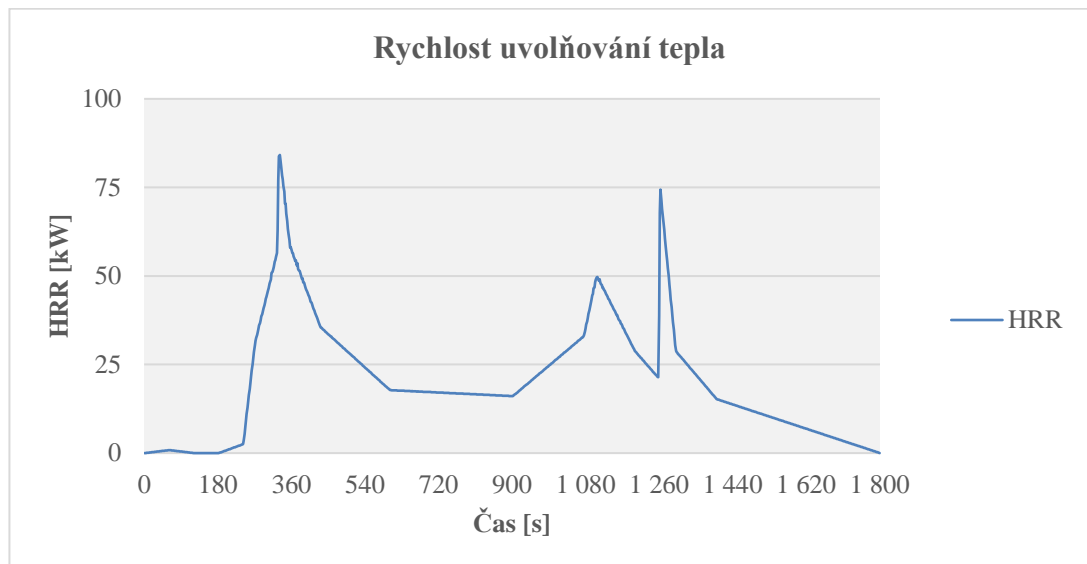
Obr. 23 Poškození přibližně 40 % plochy FV panelu

Požární zkouška FV panelu		
	Hodnota	Jednotky
Doba trvání zkoušky	1800	s
Max. rychlost uvolňování tepla	78,19	kW
Celkové uvolněné teplo	23986,5	kJ
Max. sálavý tepelný tok	1,70	kW/m <sup>2</sup>
Max. teplota na TC1	44,0	°C
Max. teplota na TC2	87,5	°C
Max. teplota na TC3	51,8	°C
Max. teplota na TC4	47,2	°C

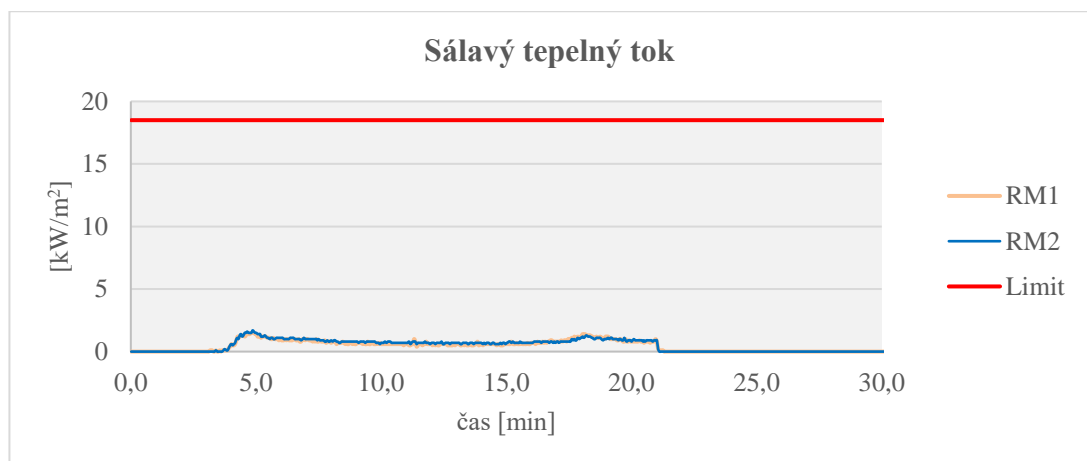
tab. 7 Tabulka naměřených hodnot při požární zkoušce



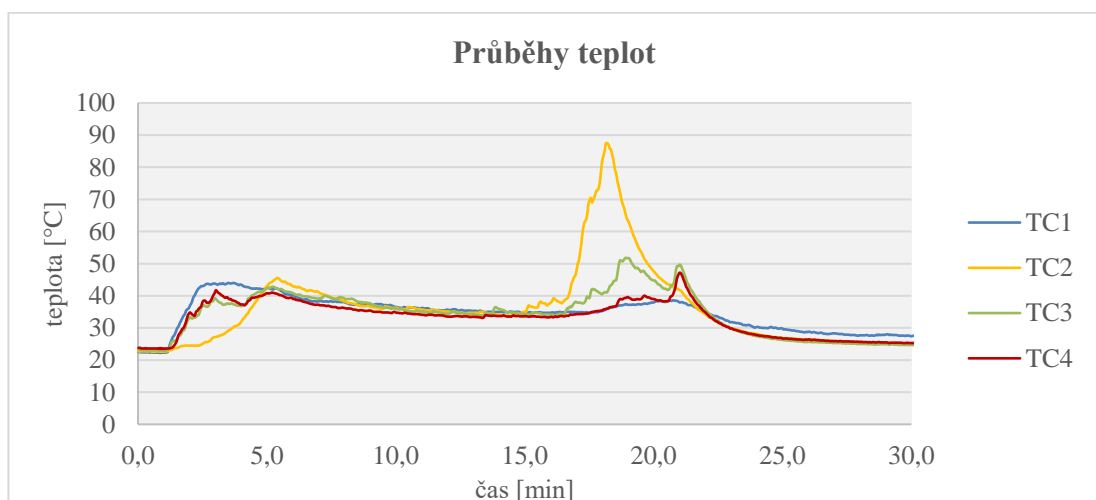
Obr. 24 Průběh rychlosti uvolňování tepla při požární zkoušce UCEEB



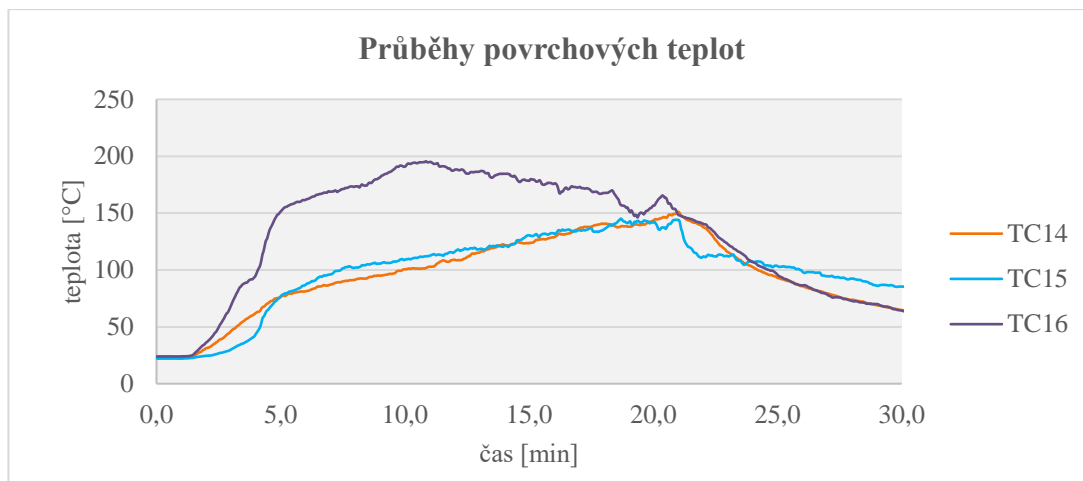
Obr. 25 Průběh rychlosti uvolňování tepla UCEEB - CFD model



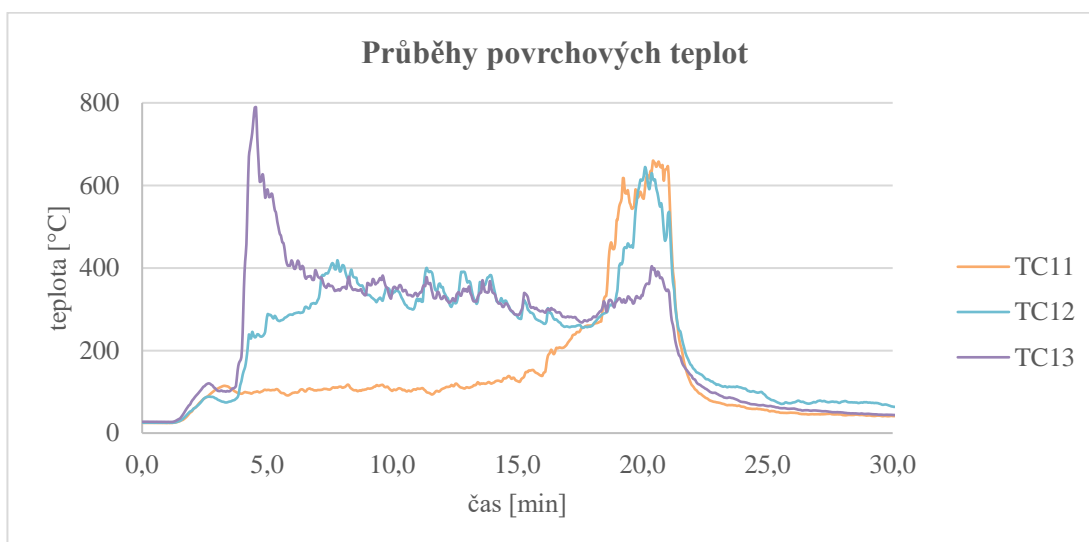
Obr. 26 Průběh sálavého tepelného toku



Obr. 27 Průběhy teplot na termočláncích TC1-TC4



Obr. 28 Průběhy teplot při horním povrchu FV panelu



Obr. 29 Průběhy teplot při horním povrchu FV panelu

Pro lepší přehlednost průběhu povrchových teplot na panelu byly vytvořeny dva grafy, jelikož průběhy teplot na Obr. 29 nabývají hodnot v poměrně značném rozdílu. To je zapříčiněno tím, že v daném okamžiku došlo k odhoření části FV panelu, kde byl umístěn povrchový termočlánek a od této doby byla měřena teplota vzduchu a tím došlo k naměření vysokých teplot.

## 8 Odstupové vzdálenosti od FV panelů

Problémem FVE z hlediska požární bezpečnosti je mezi odborníky a samotnými hasiči neinformovanost. V ČR neexistuje v současné době norma zabývající se požární bezpečností FVE. Ve spojení s FVE a jejími požárními riziky by se mohlo hovořit o mnoha faktech, která doposud nebyla stanovena nebo nejsou známa. Bylo by tedy dobré zmínit, že v případě instalace FVE na střešní konstrukci dané budovy, je potřeba zvolit typ střešního pláště splňující požadavky na  $B_{\text{roof}}(t_3)$ , aby se minimalizovala rizika šíření požáru. Toto by ale nemuselo být splněno v případě, kdy FV panely nejsou instalovány v celé ploše střechy. Bylo by tedy dobré znát, jak daleko by mohly zasahovat plameny v případě požáru FVE. Potom by totiž bylo dáno, v jaké vzdálenosti od FV panelů může být použita hořlavá krytina střechy a zmírnit tak ekonomiku řešeného objektu. Problém ovšem nastává v případě, kdy FV panely tvoří přímo finální krytinu tzv. Systém BIPV (Building Integrated Photovoltaics). V tomto případě už není na místě otázka možnosti umístění hořlavé krytiny, ale otázka velikosti požárně nebezpečného prostoru, kam mohou plameny dosahovat, což souvisí s obvodovým pláštěm dané budovy, na které je FVE instalována a dále také se vzdáleností okolních objektů. Jedním takovým příkladem se zabývá tato kapitola, kde bude věnována pozornost problematice odstupových vzdáleností FV panelu. Jelikož v současné době je určení odstupové vzdálenosti od FVE omezující podle ČSN 73 0804, kde vzhledem k neinformovanosti o vlastnostech a chování těchto zařízení, se odstupové vzdálenosti řeší podle kapitoly odstupových vzdáleností od otevřených technologických zařízení. Podle této kapitoly se následně určí odstupová vzdálenost 6,5 m. [22] Tato vzdálenost může hrát významnou roli při umísťování objektů vůči hranic sousedních pozemků a objektů. Pro řešení problematiky bylo CFD modelování požárů FV panelu, jakožto možný nástroj pro ověření odstupových vzdáleností.

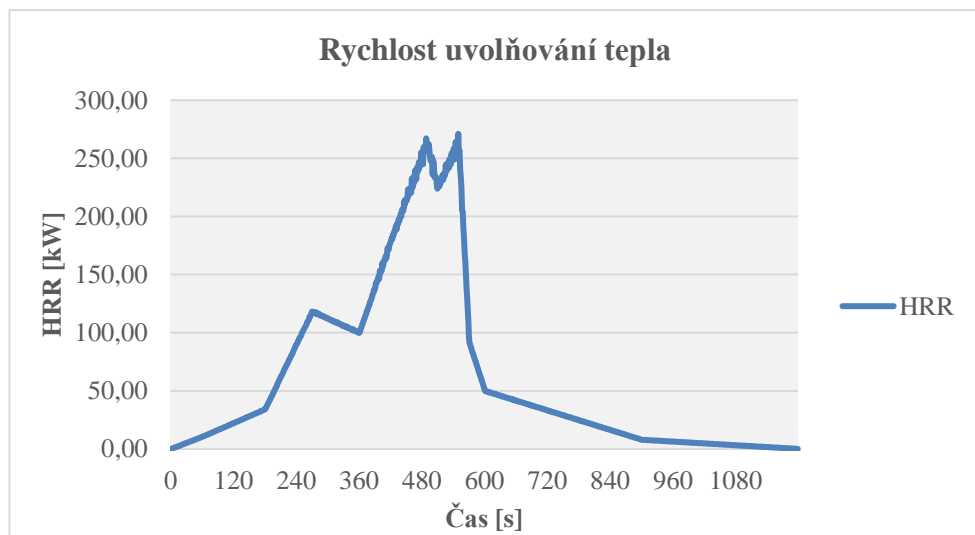
### 8.1 CFD model požární zkoušky panelu C-Si v TÜV Rheinland

Pro modelování požáru celého FV panelu byla použita přesná vstupní data pro FDS z požární zkoušky uskutečněné v institutu TÜV Rheinland, aby se mohly následně porovnat hodnoty odstupových vzdáleností v případě požáru celého panelu, ke kterému může dojít v případě požáru o vyšším výkonu například požár střešního pláště a požáru části panelu zapříčiněného například plastovým S-boxem. Pro model byl použit FV panel o rozměrech 1680 x 880 mm umístěný na ploché střeše ve sklonu 23°. Modelovacím prostorem byla krychle o rozměrech 3,0 x 3,0 x 3,0 m. Podlaha krychle simulovala vrstvu šterku na ploché střeše, která je na Obr. 31 znázorněna šedou barvou. Boční a horní stěna byly v tomto případě modelovány jako otevřené plochy. Model FV panelu byly opět hranoly o stejných rozměrech délky 880 mm (šířka zkoušeného C-Si panelu).

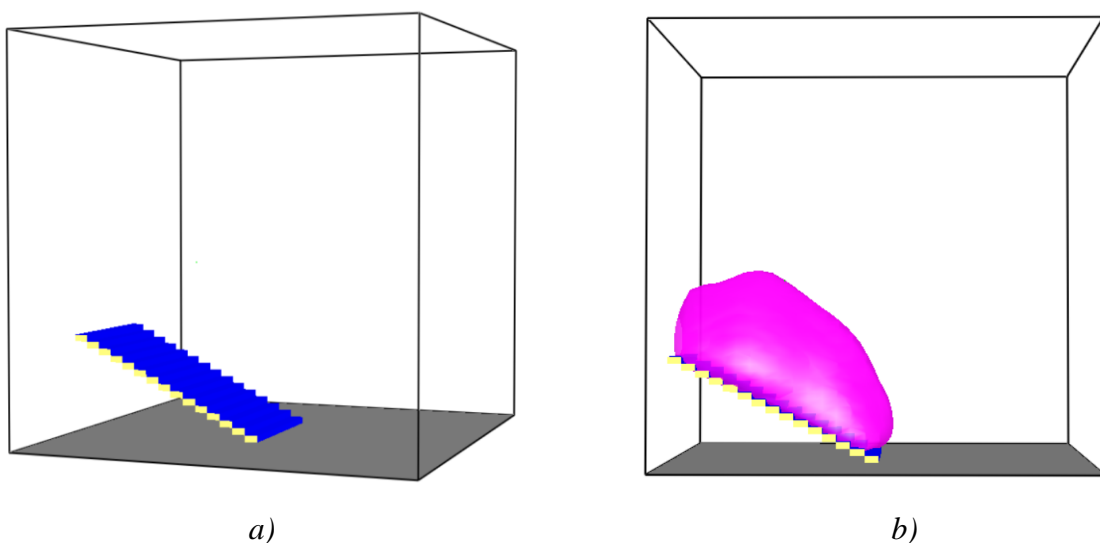


Dvěma plochám, které jsou na Obr. 31a znázorněny modrou barvou, byly přiřazeny hodnoty rychlosti uvolňování tepla v závislosti na čase. Maximální hodnota HRR vychází z experimentu 1B (tab. 4) německého institutu, jelikož při experimentu 1A nebyla hodnota rychlosti uvolňování tepla výrazná jako při experimentu 1B. Nejvyšší hodnota rychlosti uvolňování tepla byla zjištěna při experimentu 1C (tab. 4). Tato hodnota ale nebyla pro tento model použita, jelikož německý institut prohlásil tuto zkoušku za nerelevantní. [13]

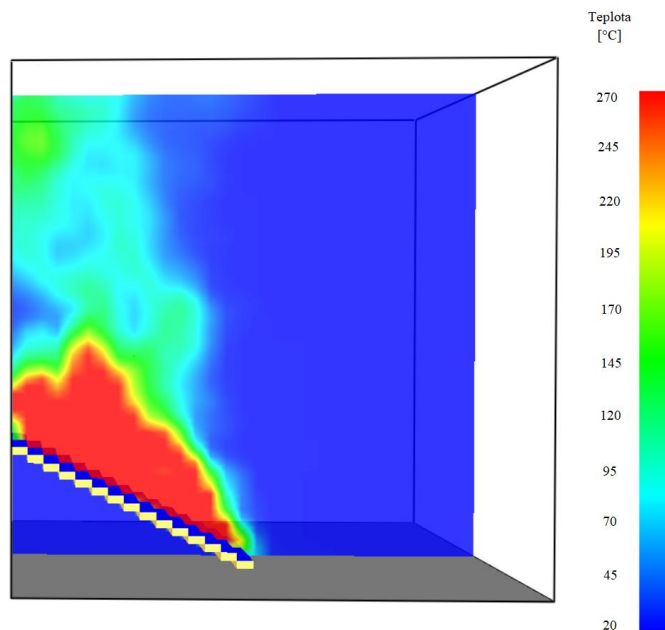
Jelikož doba trvání experimentu trvala 1200 s, byla stejná doba trvání požáru, resp. výpočtu použita i pro model požáru FV panelu v programu FDS. Po skončení výpočtu byla zjištěna hodnota  $18,5 \text{ kW/m}^2$  ve vzdálenosti 1,0 m ve svislém směru (Obr. 31b), a to v čase 490 s, kdy rychlost uvolňovaného tepla, dle CFD modelu, dosahovala maximální hodnoty  $247,0 \text{ kW}$ . Po ukončení výpočtu CFD modelu byla zjištěna odstupová vzdálenost 1,0 m.



Obr. 30 Průběh rychlosti uvolňování tepla dle CFD modelu (zkouška v TUV Rheinland)



Obr. 31 Německo a) Model FV panelu ve sklonu  $23^\circ$ ; b) Oblast hranice tepelného toku  $18,5 \text{ kW/m}^2$

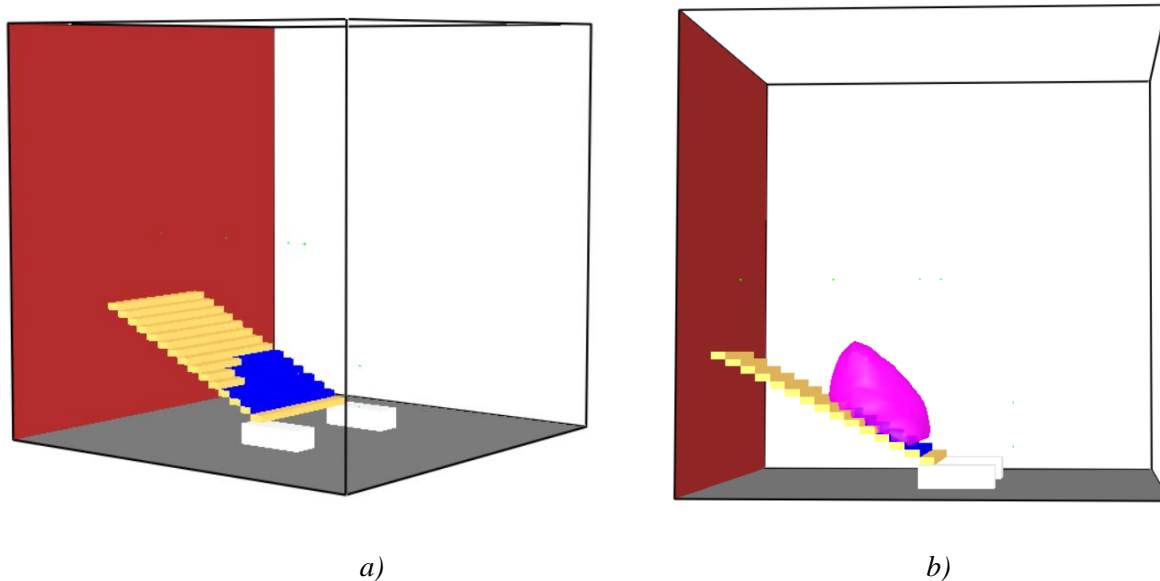


Obr. 32 Rozložení teplot v prostoru při maximálním HRR

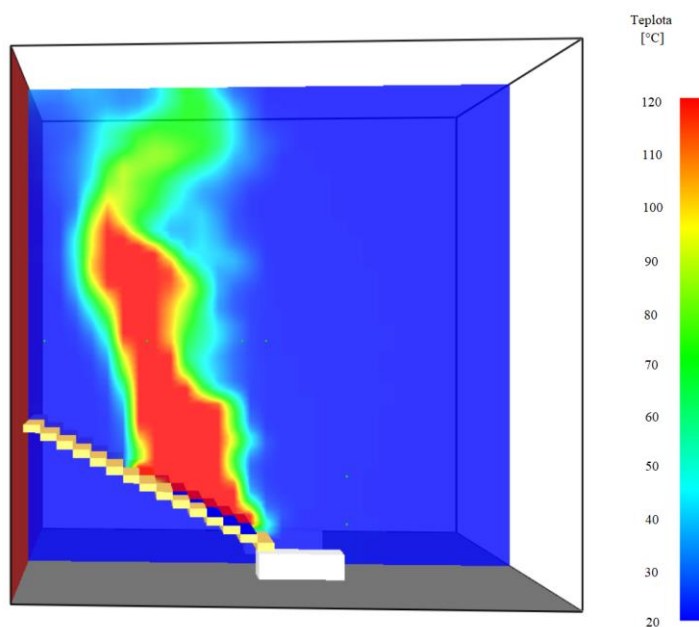
## 8.2 Celkový CFD model požární zkoušky UCEEB

V důsledku této skutečnosti bylo zaměření se na odstupovou vzdálenost FV panelu pomocí CFD modelu. Hlavním podkladem slouží údaje naměřené při požární zkoušce v rámci této diplomové práce. Další podklad tvoří výsledky požárních zkoušek, které se provedly v německém institutu TÜV Rheinland ve spolupráci s Currenta, kde byly provedeny zkoušky hořlavosti různých FV panelů.

Pro modelování požární zkoušky pomocí CFD modelu byl použit stejný monokrystalický FV panel jako při požární zkoušce o rozměrech 1640 x 990 mm umístěný na ploché střeše ve sklonu 23 °. Modelovacím prostorem byla krychle o rozměrech 3,0 x 3,0 x 3,0 m. Podlaha krychle simulovala vrstvu šterku na ploché střeše, která je na Obr. 33 znázorněna šedou barvou. Tři boční a horní stěna byly modelovány jako otevřené plochy a čtvrtá stěna byla modelována s vlastnostmi sádkartonové desky, jež byla použita při požární zkoušce (Obr. 33). Jelikož program FDS umožňuje modelování pouze v pravoúhlém systému, byly pro model FV panelu použity hranoly o stejných rozměrech tak, aby vytvořily požadovaný sklon panelu. Délka hranolů byla totožná s šířkou daného panelu. Dvěma plochám, které jsou na Obr. 33a znázorněny modrou barvou, byly přiřazeny hodnoty rychlosti uvolňování tepla v závislosti na čase. Po vymodelování FV panelu bylo pomocí příkazu nastavena hodnota tepelného toku na 18,5 kW/m<sup>2</sup>, aby pro následnou analýzu bylo možné určit, v jaké svislé vzdálenosti se tato kritická hodnota tepelného toku nachází. Hranice limitní oblasti hustoty tepelného toku (Obr. 33b) se dle CFD modelu nachází ve vzdálenosti 0,55 m, což ve srovnání s odstupovou vzdáleností 6,5 m je významný rozdíl.



Obr. 33 UCEEB a) Model FV panelu ve sklonu 23°; b) Oblast hranice tepelného toku 18,5 kW/m<sup>2</sup>



Obr. 34 Rozložení teplot v prostoru při maximálním HRR

### 8.3 Zpřesněný CFD model požární zkoušky UCEEB

Vlivem různých sklonů FV panelů lze předpokládat, že se průběh HRR bude lišit. Aby se mohly modelovat požáry FV panelů v různých sklonech, bylo potřeba zjistit průběh požáru elementární plošky panelu. Z tohoto důvodu byl při požární zkoušce v UCEEB rozdělen povrch panelu na elementární plošky pomocí karisítě s roztečí ok 5 x 5 cm. Průběh požáru byl zaznamenáván dvěma kamerami, kde jedna kamera byla umístěna před panelem a druhá snímala průběh požáru z boku panelu.

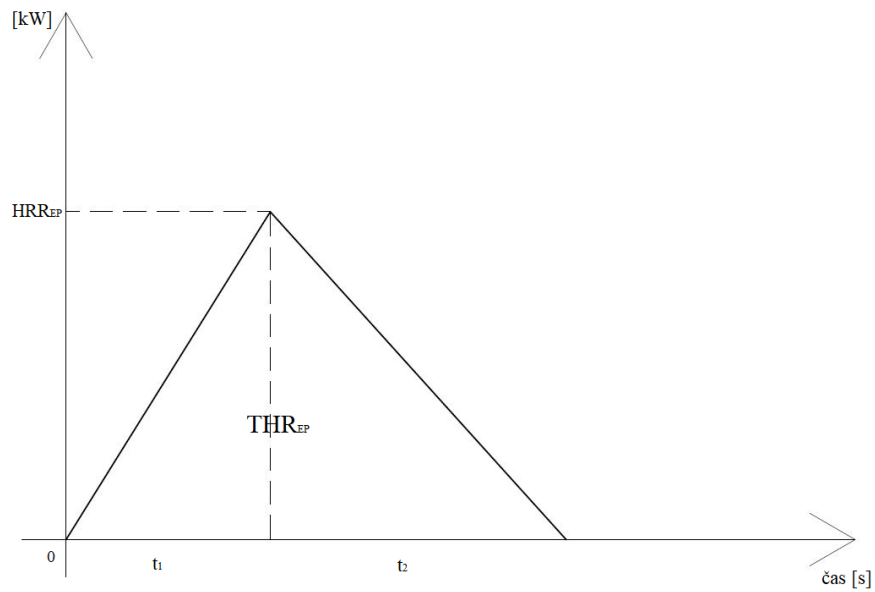
Poté, co byly zpracovány výstupy z požární zkoušky, bylo spočteno celkové uvolněné teplo při požáru monokrystalického FV panelu v čase 20 minut. Z této hodnoty a počtu odhořelých plošek karisítě se následně vypočítala hodnota uvolněného tepla jedné elementární plošky. Pomocí videozáznamu požární zkoušky bylo analyzováno, v jakém přibližném čase začala, a kdy dohořela jedna elementární ploška. Pro určení teploty vznícení se vycházelo z videozáznamu, kde se určila elementární ploška FV panelu, na které byl umístěn povrchový termočlánek TC12 a sledovalo se, v jakém čase přibližně začala hořet. Následně se podle času videozáznamu zjistilo, jakou hodnotu teploty naměřil povrchový termočlánek v čase, kdy došlo ke vznícení plošky. Hodnota teploty vznícení elementární plošky byla cca 212 °C a tato hodnota byla následně vnesena do zdrojového textu modelovacího programu FDS (Obr. 35).

```
&SURF ID='SKLO', COLOR='BLUE', MATL_ID='SKLO', THICKNESS=0.0032, HRRPUA=174.0, RAMP_Q='SKLO_RAMP_Q',
IGNITION_TEMPERATURE=212.0/
&RAMP ID='SKLO_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='SKLO_RAMP_Q', T=100.0, F=1.0/
&RAMP ID='SKLO_RAMP_Q', T=240.0, F=0.0/
```

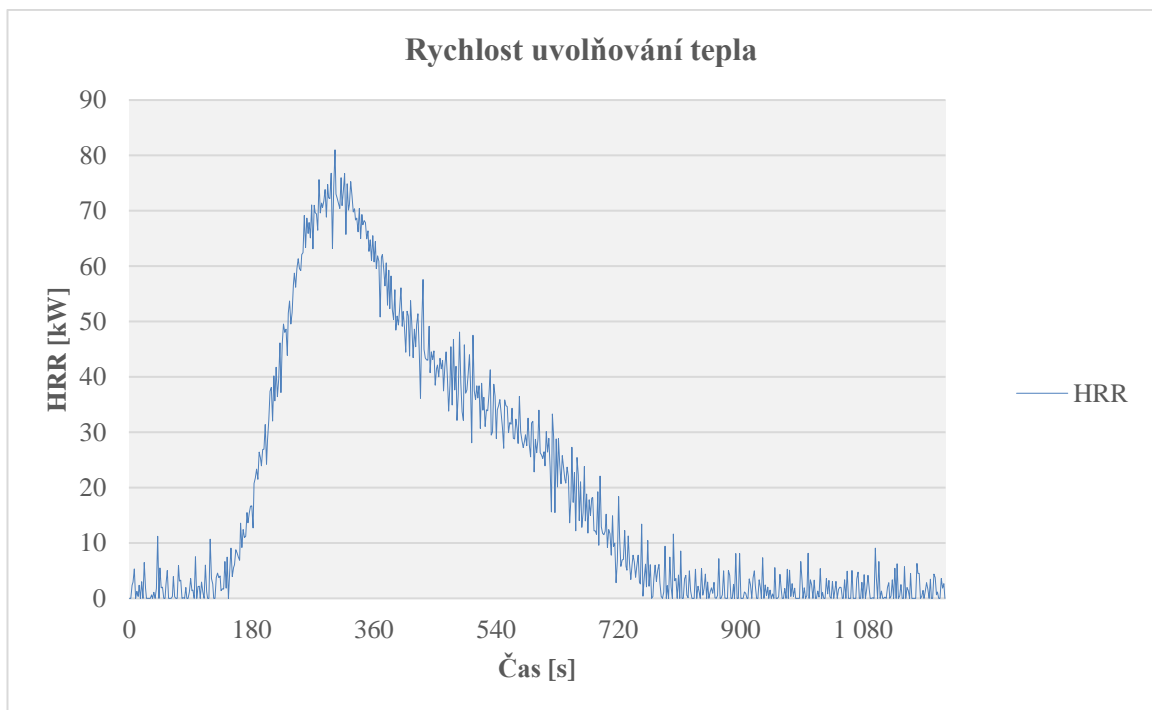
Obr. 35 Ukázka zápisu vlastností a chování elementární plošky v FDS

Fáze rozvoje požáru jedné plošky byla řešena jako lineární průběh HRR v závislosti na čase (Obr. 36). Čas maximálního HRR byl odhadnut  $t_1 = 100$  sekund a následná fáze dohořívání plošky byla brána rovněž v lineární závislosti HRR na čase, kdy konec hoření jedné plošky byl dle videozáznamu odhadnut v  $t_2 = 240$  sekundách. Tento odhadovaný průběh požáru vytvořil pod křivkou plochu, jejíž velikost se rovnala vypočtené hodnotě uvolněného tepla jedné plošky  $THR_{EP}$  [kJ]. Z rovnice (1) se vypočetlo maximální HRR elementární plošky a následně byl vymodelován průběh požáru FV panelu v FDS tak, aby byl srovnatelný s požární zkouškou. I když během požární zkoušky byla fáze rozhořívání a dohořívání zaznamenána dvakrát z důvodu, že v čase 11 minut a 30 sekund došlo k dohoření části panelu a v čase 13 minut a 30 sekund došlo k prohoření a následnému rozvoji požáru na další části panelu (Obr. 38). Naproti tomu průběh modelovaného požáru patrného z Obr. 37 je vidět, že tento požár má během 20 minut jednu fázi rozhořívání a jednu fázi dohořívání, jelikož model požáru byl aplikován na průběh první fáze požární zkoušky s tím, že dochází k hoření ideálního FV panelu se stejným množstvím uvolněného tepla.

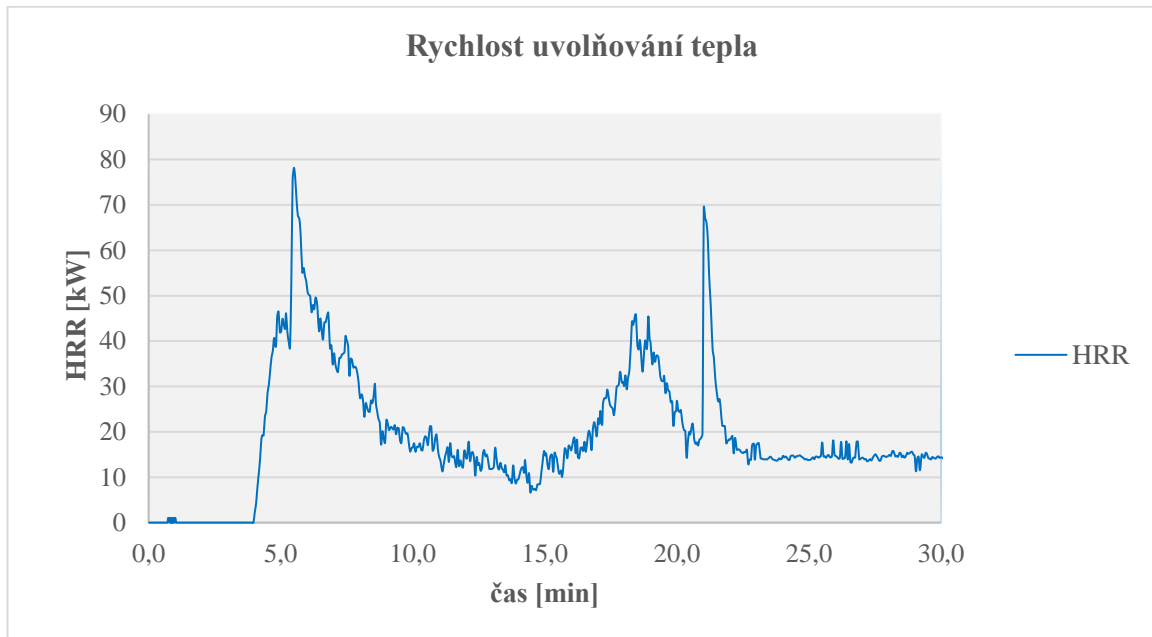
$$\frac{t_1 * HRR_{EP}}{2} + \frac{t_2 * HRR_{EP}}{2} = THR_{EP} \quad (1)$$



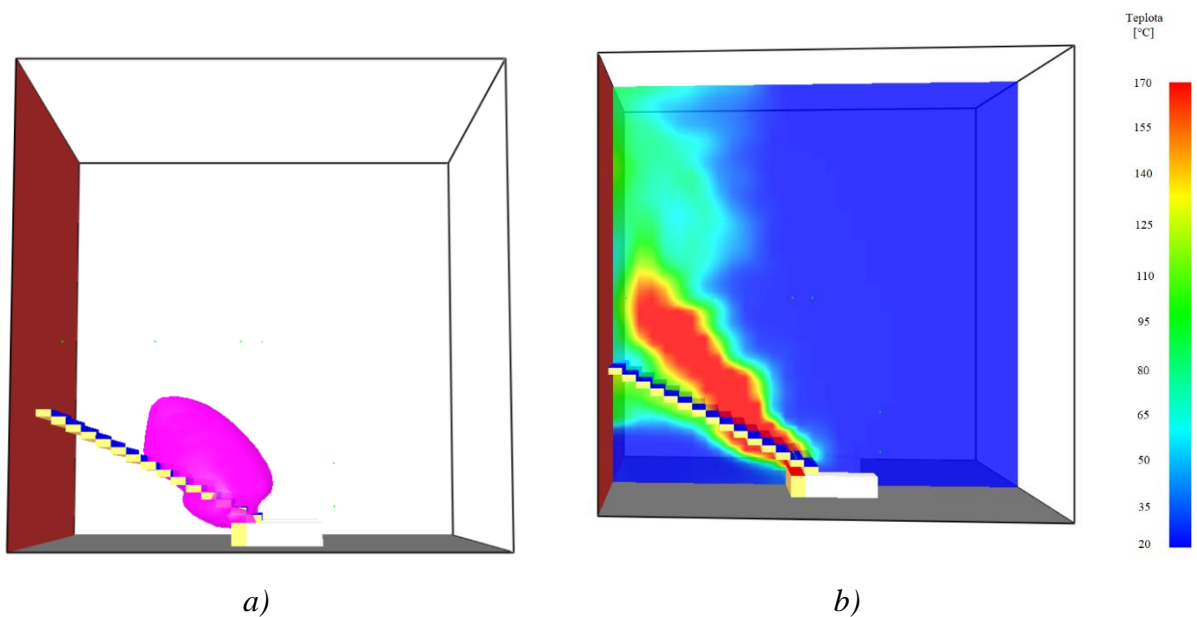
Obr. 36 Obecný graf průběhu rychlosti uvolňování tepla elementární plošky



Obr. 37 Rychlost uvolňování tepla FV panelu dle elementární plošky



Obr. 38 Rychlost uvolňování tepla FV panelu při požární zkoušce



Obr. 39 a) Oblast hranice tepelného toku  $18,5 \text{ kW/m}^2$ ; b) Rozložení teplot v prostoru při maximálním HRR

Pokud porovnáme výsledky z obou výše uvedených grafů do 20. minuty zjistíme, že celkové uvolněné teplo při požární zkoušce bylo  $23\,986,5 \text{ kJ}$  a v případě CFD modelu přibližně  $25\,520 \text{ kJ}$ . Výsledek CFD modelu se od požární zkoušky liší o 6 %, což se dá brát jako adekvátní výsledek simulace průběhu požáru ideálního FV panelu tak, aby mohly být modelovány požáry FV panelů v různých sklonech. Oblast hranice tepelného toku  $18,5 \text{ kW/m}^2$  byla zjištěna ve vzdálenosti 0,50 m.

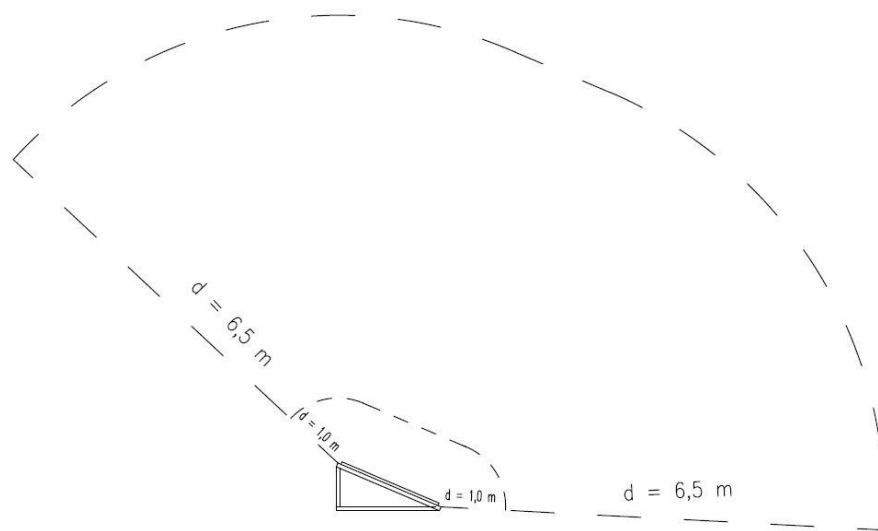
## 8.4 Porovnání odstupových vzdáleností

Vzhledem k odlišným výkonům plynových hořáků během požární zkoušky provedené v UCEEB a v TÜV Rheinland vzešly ze zkoušek různé výsledky. V případě zkoušky provedené v rámci této práce byl požární scénář zahoření plastového S-boxu umístěného pod FV panelem, a proto byl zvolen výkon hořáku 50 kW. V tomto případě došlo k částečnému poškození FV panelu, a sice přibližně z 35 % plochy panelu. Při požární zkoušce v TÜV Rheinland byly provedeny zkoušky s různými výkony hořáků [13]. V případě výkonu hořáku 150 kW se lze domnívat, že požárním scénářem mohl být například požár střešního pláště, který se následně rozšíří na FV panely. Jelikož v tomto případě došlo po skončení zkoušky k úplnému poškození FV panelu, byly pro porovnání odstupových vzdáleností zvoleny hodnoty právě z této zkoušky a zkoušky provedené v UCEEB (tab. 8). V této tabulce je vidět, že odstupové vzdálenosti se u jednotlivých požárních scénářů liší.

Porovnání odstupových vzdáleností					
	Typ panelu	Výkon hořáku [kW]	Doba trvání zkoušky [s]	Odstupová vzdálenost [m]	HRR <sub>max</sub> [kW]
Celkový CFD model UCEEB	Monokrystalický	50	1800	<b>0,55</b>	78,19
Zpřesněný CFD model UCEEB	Monokrystalický	50	1200	<b>0,50</b>	81,01
Zkouška TÜV Rheinland	C-Si	150	1200	<b>1,00</b>	247,0
ČSN 73 0804				<b>6,50</b>	

tab. 8 Porovnání hodnot a výsledků CFD modelů požárních zkoušek

Jako výslednou odstupovou vzdáleností byla vybrána hodnota 1,0 m, tedy hodnota ze zkoušky, kdy hořel celý FV panel, jakožto horší požární scénář. Porovnání velikostí požárně nebezpečného prostoru dle ČSN 73 0804 a CFD modelu je vidět na Obr. 40. Pokud se zaměříme na odstupovou vzdálenost mezi jednotlivými panely či sekcemi panelů, dalo by se říci, že panely mohou být umístěny vedle sebe bez odstupů, jelikož je málo pravděpodobné, že v případě požáru FV panelu dojde k jeho přenesení na jiný FV panel. To ale není s technických i praktických důvodů realizovatelné, jelikož je potřeba se mezi sekcemi panelů pohybovat jak kvůli pravidelné kontrole a údržbě systému, tak i z hlediska protipožárního zásahu.



*Obr. 40 Porovnání odstupových vzdáleností FV panelu dle ČSN 73 0804 a CFD modelu*



## 9 Shrnutí a závěr

Vzhledem k zjištěným skutečnostem je nutné podotknout, že by se problematice FVE na obálce budov měla věnovat pozornost a zamyslet se nad tím, jakým způsobem umísťovat FV panely na střechách budov. Problémem je, že když se FVE začaly rozrůstat z hlediska počtu a velikosti montáží, nebyla dostatečná informovanost o tom, jak se vlastně daný materiál chová při požáru, či jak nebo co u FVE kontrolovat, a jak často. Jestli může být pod FV panely hořlavá střešní konstrukce apod. Důkazem toho jsou popsány proběhnuvší požáry v předešlých kapitolách.

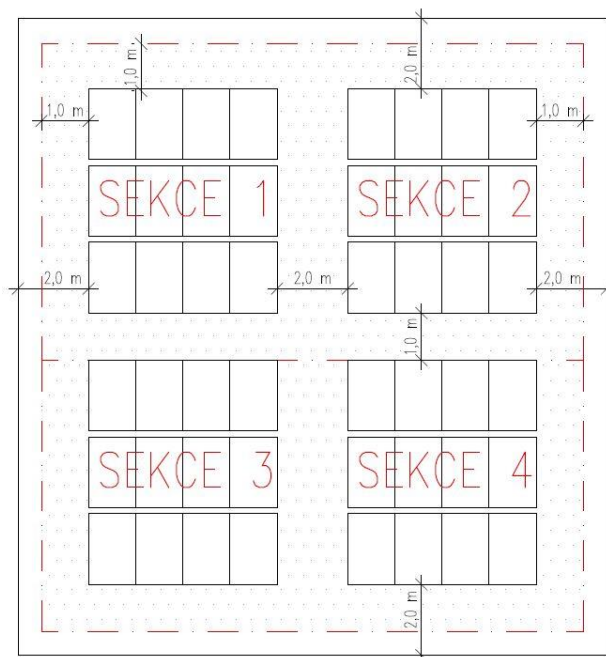
V budoucnu lze očekávat, že se s instalací FVE na obálkách budov budeme setkávat poměrně často vlivem požadavku na používání obnovitelných zdrojů energie. Je tedy potřeba věnovat se problematice odstupových vzdáleností a zajistit, aby se vzniklý požár nepřenášel z FV panelů na další sekce či na střešní konstrukci. Podle výsledků požární zkoušky na UCEEB lze konstatovat, že přenesení požáru z FV panelu na jiný FV panel je spíše nepravděpodobné. Následně dle CFD modelu by se dalo říci, že pokud se dodrží odstupová vzdálenost od FVE alespoň 1,0 m, a zároveň umístění hořlavého střešního pláště bude až za zjištěnou hodnotu vzdálenosti, nemělo by dojít k rozšíření požáru na ostatní FV panely a opláštění budovy. Důležité rovněž je, aby se v požárně nebezpečném prostoru FVE nevyskytovala jiná technologická zařízení jako například strojovny výtahů či vzduchotechniky apod. V případě instalací FVE na rozlehlé objekty je třeba, aby mezi sekcemi FV panelů byly provedeny zásahové cesty tak, aby nedocházelo k opakování vzniklých problémů při přelézání konstrukcí FV panelů a ztížení tak protipožárního zásahu.

Z výsledků a zkoušek provedených v rámci této diplomové práce je možné konstatovat skutečnost, že pokud dojde k požáru FV panelu, je třeba zabránit k přenesení požáru na jiné FV panely či střešní plášť vlivem odkapávajících hořících kapek z FV panelu. Z toho vyplývá, že v oblasti, která je na Obr. 41 vyšrafována včetně plochy pod FV panely, by měl být užit takový materiál, aby střešní plášť splňoval požadavky  $B_{\text{roof}}(t3)$ , a nedošlo tak k rozšíření požáru v celé ploše střechy objektu.

Další důležitý poznatek je, aby se v této oblasti nevyskytovala kabeláž bez požární odolnosti, či bez protipožárního opatření jako jsou například požárně odolné kastlíky pro vedení kabeláže znázorněné na Obr. 12a v kapitole 6.3.1.

Pro konečný návrh rozmístění sekcí panelů vůči jiné sekci či požárně dělicím konstrukcím se vycházelo z Obr. 14 v kapitole 6.3.2 a zjištěných hodnot během požární zkoušky v UCEEB a CFD modelů (Obr. 41). V případě, kdy například strojovna vzduchotechniky bude umístěna

v zásahové cestě, lze v tomto místě zásahovou cestu zmenšit na 1,0 m, pokud požárně nebezpečný prostor strojovny či jiného technologického zařízení nebude zasahovat na zařízení FVE.



Obr. 41 Zásahové cesty a odstupové vzdálenosti FVE

Na základě provedené požární zkoušky a následných CFD modelů, lze konstatovat, že FV panely:

- jsou hořlavá zařízení,
- mohou být příčinou požáru budovy,
- nejsou rizikem šíření požáru.

Abychom zabránili nebezpečí vzniku a šíření požáru zapříčiněného FV systémem, je důležité zaměřit se na správné návrhy rozměrů A-boxů, S-boxů a kabeláže a jejich volbu materiálů v rámci projektové fáze FVE. Jelikož bylo řečeno, že zmíněné komponenty byly nejčastěji příčinou požáru, bylo by dobré, aby A-boxy a S-boxy byly například z kovového materiálu a byla zajištěna jejich požární odolnost. Aby se předešlo riziku vzniku požáru, je potřeba aby byly dodrženy následující zásady:

- dodržení odstupové vzdálenosti od FVE 1,0 m,
- střešní plášť v PNP FVE musí splňovat požadavek  $B_{\text{roof}}(t_3)$ ,
- neumisťovat jiná technologická zařízení do PNP FVE,
- FVE neumisťovat do PNP jiných objektů či technologických zařízení,
- návrh komponent s požární odolností.

---

Nemálo důležitým faktem je, aby se systém FVE důkladně kontroloval jak v rámci pravidelné údržby, tak při provozu. Kontrolovaná by měla být zejména tato místa:

- kabelové spoje v rozvodných skříních (utažení svorek, oblast obnažených kabelů),
- čistota v rozvodných skříních (prach),
- zvýšená či kritická teplota komponent a jejich destrukce,
- prostup kabeláže požárně dělícími konstrukcemi,
- maximální povolené zalomení kabelů.

V případě požáru je potřeba zajistit především bezpečnost členů jednotek požární ochrany a jejich informovanost o FVE v budově. Toho docílíme tím, že se dodrží následující zásady:

- informační štítek o výskytu FVE,
- situační náčrt s vyznačením komponent, DC a AC kabeláže,
- co nejkratší vedení DC kabelů,
- maximalizace míst pro rozpojení systému na oblasti s vedením pod napětím do 400 V,
- návrh zásahových cest mezi sekcemi FV panelů.

## Seznam obrázků

Obr. 1 Zjednodušený princip funkce fotovoltaického článku [1].....	7
Obr. 2 a) Čtvercový monokrystalický článek; b) Pseudočtvercový monokrystalický článek; c) Kulatý monokrystalický článek [2].....	8
Obr. 3 Struktura vrstev článků CIS [2] .....	9
Obr. 4 Struktura vrstev článku CdTe [2] .....	10
Obr. 5 a) FV panely na hliníkové konstrukci, b) FV panely na šikmé střeše montované na krytinu, c, d) Integrované FV panely .....	13
Obr. 6 a) Pohled na střechu skladovací haly Kunice, b) Rozšíření požáru skladovací haly Kunice [4].....	15
Obr. 7 a) Ohnisko požáru - poškozený plastový A-box, b) Střecha haly po likvidaci požáru [4] .....	16
Obr. 8 a) Ohnisko požáru střechy sportovní haly, b) Požár střechy a FVE.....	18
Obr. 9 Schéma zapojení FVE s vyznačeným rizikovým místem .....	23
Obr. 10 Příklad situačního nákresu podle VDE-AR-2100-712 [2, 13] .....	27
Obr. 11 a) Informační značka, b) Schéma bezpečné instalace DC kabelů v budově [13, 20]..	36
Obr. 12 a) Protipožární opatření kabeláže FV systému v místě požárně dělící konstrukce [13], b) Průchod elektroinstalace požárně dělící konstrukcí a vzdálenosti modulů od požárně dělících konstrukcí a hranic pozemku [2] .....	37
Obr. 13 Možnosti přístupu pro likvidaci požáru na šikmé střeše [13].....	37
Obr. 14 Možnosti přístupu pro likvidaci požáru:.....	38
Obr. 15 Schématické znázornění vývoje proudu vody [13] .....	40
Obr. 16 Experiment se simulovaným tělesným odporem pro měření svodových proudů [13]	40
Obr. 17 Poškození FV panelů po použití hořáku s výkonem 25 kW; a) panel C-Si; b) panel CIS; .....	42
Obr. 18 Poškození FV panelů po použití hořáku s výkonem 150 kW; a) panel C-Si; b) panel CIS; .....	42
Obr. 19 Požární zkouška FV panelu; a) hořák 25 kW; b) hořák 150 kW [13].....	43
Obr. 20 Schéma zkušebního zařízení UCEEB [21].....	45
Obr. 21 a), b) Umístění FV panelu pod odsávací zvon ve sklonu 23 °.....	46
Obr. 22 Požární zkouška FV panelu UCEEB a) pohled; b) půdorys.....	47
Obr. 23 Poškození přibližně 40 % plochy FV panelu.....	48
Obr. 24 Průběh rychlosti uvolňování tepla při požární zkoušce UCEEB.....	48
Obr. 25 Průběh rychlosti uvolňování tepla UCEEB - CFD model.....	49

---

Obr. 26 Průběh sálavého tepelného toku .....	49
Obr. 27 Průběhy teplot na termočláncích TC1-TC4.....	49
Obr. 28 Průběhy teplot při horním povrchu FV panelu.....	50
Obr. 29 Průběhy teplot při horním povrchu FV panelu.....	50
Obr. 30 Průběh rychlosti uvolňování tepla dle CFD modelu (zkouška v TUV Rheinland).....	52
Obr. 31 Německo a) Model FV panelu ve sklonu 23°; b) Oblast hranice tepelného toku 18,5 kW/m <sup>2</sup> .....	52
Obr. 32 Rozložení teplot v prostoru při maximálním HRR.....	53
Obr. 33 UCEEB a) Model FV panelu ve sklonu 23°; b) Oblast hranice tepelného toku 18,5 kW/m <sup>2</sup> .....	54
Obr. 34 Rozložení teplot v prostoru při maximálním HRR.....	54
Obr. 35 Ukázka zápisu vlastností a chování elementární plošky v FDS .....	55
Obr. 36 Obecný graf průběhu rychlosti uvolňování tepla elementární plošky.....	56
Obr. 37 Rychlost uvolňování tepla FV panelu dle elementární plošky .....	56
Obr. 38 Rychlost uvolňování tepla FV panelu při požární zkoušce .....	57
Obr. 39 a) Oblast hranice tepelného toku 18,5 kW/m <sup>2</sup> ; b) Rozložení teplot v prostoru při maximálním HRR.....	57
Obr. 40 Porovnání odstupových vzdáleností FV panelu dle ČSN 73 0804 a CFD modelu .....	59
Obr. 41 Zásahové cesty a odstupové vzdálenosti FVE.....	61

## Seznam tabulek

tab. 1 Bezpečná vzdálenost a minimální tlak na proudnici [5].....	28
tab. 2 Třídy stavebních materiálů dle DIN 4102 a DIN EN 13501 [2, 20].....	33
tab. 3 Minimální vzdálenosti hasicího zařízení a zařízení pod napětím [13] .....	39
tab. 4 Požárně technické charakteristiky panelu C-Si [13].....	43
tab. 5 Požárně technické charakteristiky panelu CIS [13] .....	43
tab. 6 Požárně technické charakteristiky panelu CdTe [13] .....	44
tab. 7 Tabulka naměřených hodnot při požární zkoušce .....	48
tab. 8 Porovnání hodnot a výsledků CFD modelů požárních zkoušek .....	58

---

## Literatura

- [1] NOS, Filip. Požáry fotovoltaických elektráren. *Časopis 112*. nedatováno, **XVII**(1/2018).
- [2] HASELHUHN, Ralf, Petr MAULE, Uwe HARTMANN, Wolfgang GEISENBERGER, Udo SIEGFRIEDT, Philipp VANICEK, Lars KORNER, Rainer MORSCH, Mike ZEHNER, Christian ROHR, Markus METZ, Claudia HEMMERLE, Klaus HEIDLER, Tatiana ABARZUA-HELLER, Thomas SELTMANN, Cyril SVOZIL, Jakub HRBEK, Tomáš BIČÁK, Aleš MAŠKOVSKÝ, Pavel PODRUH, Naděžda MAULEOVÁ, Filip NEČAS a Petr MAULE ML. *Fotovoltaické systémy - energetická příručka pro elektrikáře, techniky, instalatéry, projektanty, architekty, inženýry, energetiky, manažery, stavitele, studenty, učitele, ostatní odborné a profesní soukromé nebo veřejné instituce a zájemce o fotovoltaický obor a energetickou nezávislost*. B.m.: Česká fotovoltaická asociace, z.s. leden 2017
- [3] MINISTERTSVO VNITRA - GENERÁLNÍ ŘEDITELSTVÍ HASIČSKÉHO ZÁCHRANNÉHO SBORU ČESKÉ REPUBLIKY. Požáry střešních konstrukcí s fotovoltaickým systémem, Metodický list 47 P. *Bojový řád jednotek požární ochrany - taktické postupy*. 2012, 4.
- [4] POSPÍŠIL, Libor. Požární problematika fotovoltaických elektráren. nedatováno, 67.
- [5] MINISTERTSVO VNITRA - GENERÁLNÍ ŘEDITELSTVÍ HASIČSKÉHO ZÁCHRANNÉHO SBORU ČESKÉ REPUBLIKY. Hašení vodou elektrických zařízení a vedení pod napětím do 400 V, Metodický list 25 P. *Bojový řád jednotek požární ochrany - taktické postupy*. 30. listopadu 2017, 2.
- [6] MINISTERTSVO VNITRA - GENERÁLNÍ ŘEDITELSTVÍ HASIČSKÉHO ZÁCHRANNÉHO SBORU ČESKÉ REPUBLIKY. Požáry fotovoltaických elektráren, Metodický list 48 P. *Bojový řád jednotek požární ochrany - taktické postupy*. 2012, 5.
- [7] PETRÁK, Martin. Požáry fotovoltaických elektráren. Osobní rozhovor. 22. březen 2018
- [8] CALDA, Miroslav, Miroslav SIMEK, Marek POKORNÝ, Petr HEJTMÁNEK, Petr WOLF, Pavel HRZINA a Libor POSPÍŠIL. *Zásady protipožárního zabezpečení střešních instalací FVE a opatření požární prevence*. B.m.: Photon Energy Operations CZ s.r.o. březen 2016
- [9] *Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření s energií*. 29. listopad 2000 [online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-406>
- [10] *Zákon 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)*. 11. květen 2016 [online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-183>
- [11] *Zákon 133/1985 Sb., o požární ochraně*. 17. prosinec 1985 [online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1985-133>
- [12] *Vyhláška č. 246/2001 Sb. Vyhláška Ministerstva vnitra o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci)*. B.m.: Ministerstvo vnitra. 23. červenec 2001

- 
- [13] SEPANSKI, Annett, Florian REIL, Willi VAAßEN, Eckart JANKNECHT, Uwe HUPACH, Nicolas BOGDANSKI, Bettina VAN HEECKEREN, Heribert SCHMIDT, Georg BOPP, Hermann LAUKAMP, Robin GRAB, Severin PHILIPP, Horst THIEM, Josef HUBER, Ralf HASELHUHN, Heinrich HÄBERLIN, Andreas KRUTZKE, Benedikt NEU, Armin RICHTER, Björn BANSEMER a Michael HALFMANN. *Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung*. März 2015
- [14] ČSN EN 62446-1 - *Fotovoltaické systémy - Požadavky na zkoušení, dokumentaci a údržbu - Část 1: Systémy spojené s rozvodnou sítí - Dokumentace, zkoušky při uvádění do provozu a kontrola*. B.m.: ÚNMZ. 2016
- [15] ČSN EN 61730-1 *Způsobilost k bezpečné činnosti fotovoltaických (PV) modulů - Část 1: Požadavky na konstrukci*. B.m.: ÚNMZ. 2007
- [16] ČSN EN 61730-2 *Způsobilost k bezpečné činnosti fotovoltaických (PV) modulů - Část 1: Požadavky na zkoušení*. B.m.: ÚNMZ. 2007
- [17] ČSN EN 50583-1 *Fotovoltaika v budovách - Část 1: Moduly BIPV*. B.m.: ÚNMZ. 2016
- [18] ČSN EN 50583-2 *Fotovoltaika v Budovách - Část 2: Systémy BIPV*. B.m.: ÚNMZ. 2016
- [19] ČSN 33 2000-7-712 ed.2 *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 7-712: Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech - Fotovoltaické (PV) systémy*. B.m.: ÚNMZ. 2016
- [20] *Brandschutzgerechte Planung, Errichtung und Instandhaltung von PV-Anlage*. nor 2011
- [21] *Požární laboratoř FireLAB - Velkorozměrové interiérové a exteriérové požární zkoušky*. B.m.: UCEEB
- [22] ČSN 73 0804 - *Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty (2010)*. B.m.: ÚNMZ. 2010