

# **Analýza rizik fotovoltaické elektrárny na vybranou lokalitu**

Lubomír Krpoun

---

Bakalářská práce  
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta logistiky a krizového řízení

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta logistiky a krizového řízení

Ústav ochrany obyvatelstva

Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Lubomír Krpoun**  
Osobní číslo: **L21422**  
Studijní program: **B1032A020002 Ochrana obyvatelstva**  
Forma studia: **Kombinovaná**  
Téma práce: **Analýza rizik fotovoltaické elektrárny na vybranou lokalitu**

## Zásady pro vypracování

1. Na základě dostupných literárních zdrojů zpracujte rešerši k dané tématice.
2. Provedte analýzu rizik souvisejících s provozem fotovoltaických elektráren ve vybrané lokalitě.
3. Navrhněte opatření ke zmírnění dopadů při havárii fotovoltaické elektrárny na vybrané lokalitě.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

1. HERNÁNDEZ-CALLEJO, Luis et al., *A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance*. Solar Energy. Elsevier, 2019 (188). ISSN 0038-092X.
2. PECL, Jan. *Fotovoltaické systémy při požáru z pohledu jednotek požární ochrany*. Časopis 112. Praha: Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2020. ISSN 1213-7057.
3. VRBKOVÁ, Kateřina a PROCHÁZKOVÁ, Dana. *Příčiny požáru fotovoltaických elektráren v České republice*. In: Řízení rizik procesů spojených s technickými díly. Praha: ČVUT v Praze, 2019. ISBN 978-80-01-06656-0.

Další odborná literatura dle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Robert Pekaj**  
Ústav krizového řízení

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. května 2024**

L.S.

---

**doc. Ing. Zuzana Tučková, Ph.D.**  
děkanka

---

**prof. Ing. Dušan Vičar, CSc.**  
ředitel ústavu

V Uherském Hradišti dne 4. prosince 2023

## PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### Prohlašuji,

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

V Uherském Hradišti, dne: 3.5.2024

Jméno a příjmení studenta: Lubomír Krpoun

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Práce je zaměřena na rizika spojená s provozem fotovoltaické elektrárny v areálu dřevozpracujícího podniku, u něhož hrozí nebezpečí vzniku mimořádné události nebo provozních havárií. Teoretická část představuje přehled hlavních faktorů, které mohou ovlivnit bezpečnost a spolehlivost provozu fotovoltaických systémů, včetně technických poruch, lidské nepozornosti nebo negativních dopadů přírodních vlivů. V praktické části je provedena analýza rizik na vybranou lokalitu s fotovoltaickým zařízením na střešní konstrukci.

Klíčová slova: fotovoltaická elektrárna, fotovoltaické panely, rizika požárů.

## **ABSTRACT**

The work is focused on the risks associated with operating a photovoltaic power plant on the premises of an industrial enterprise, where there is a danger of extraordinary events or operational accidents. The theoretical part provides an overview of the main factors that can affect the safety and reliability of photovoltaic systems operation, including technical failures, human inattention, or negative impacts of natural influences. The practical part includes a risk analysis of a selected location with a photovoltaic system on a roof structure.

Keywords: photovoltaic power plant, photovoltaic energy, fire risks.

Tímto bych rád poděkoval vědoucímu mé bakalářské práce Ing. Robertu Pekajovi, za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat majitelům objektu SWN Moravia, s.r.o. panu Ing. Zdeňku Svobodovi a panu Ing. Tomáši Nekulovi za přístup a možnost využití informací z dokumentace k objektu k této práci. Také bych dále poděkoval své rodině a svým blízkým za jejich podporu.

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

## OBSAH

ÚVOD.....	8
CÍLE A METODY.....	10
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>11</b>
<b>1 FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY A JEJICH VÝZNAM.....</b>	<b>12</b>
1.1 LEGISLATIVA V SOUVISLOSTI S FOTOVOLTAICKÝMI SYSTÉMY A ELEKTRICKOU ENERGIÍ .....	13
1.2 DRUHY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ .....	14
1.3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ.....	19
1.4 PRINCIP FUNGOVÁNÍ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY.....	20
<b>2 RIZIKA V KONTEXTU PROVOZU FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN .....</b>	<b>23</b>
2.1 STATICKÁ BEZPEČNOST FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY .....	23
2.2 POŽÁRNÍ (NE)BEZPEČNOST .....	24
2.2.1 Požadavky na bezpečnou instalaci .....	24
2.2.2 Bojový řád jednotek pro zásah na fotovoltaické elektrárny .....	25
<b>3 DÍLČÍ ZÁVĚR .....</b>	<b>26</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>27</b>
<b>4 CHARAKTERISTIKA VYBRANÉ LOKALITY.....</b>	<b>28</b>
4.1 POPIS OBJEKTU .....	28
4.2 CHEMICKÉ LÁTKY V OBJEKTU .....	30
4.3 VSTUP PRO SLOŽKY INTEGROVANÉHO ZÁCHRANNÉHO SYSTÉMU .....	30
<b>5 ANALÝZA RIZIK FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY .....</b>	<b>31</b>
5.1 IDENTIFIKACE RIZIK .....	31
5.2 VYBRANÉ METODY ANALÝZY RIZIK .....	35
5.3 HODNOCENÍ RIZIK .....	42
5.4 NAVRŽENÁ OPATŘENÍ .....	43
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>45</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>46</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>50</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>51</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>52</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>53</b>

## ÚVOD

Fotovoltaické systémy jsou vyhledávanou alternativou pro snižování spotřeby energie ve vztahu k šetrnému přístupu k udržitelnosti životního prostředí. Mnoho provozovatelů na ně čerpá finanční prostředky z evropských fondů, z tohoto důvodu se tento trend stále rozvíjí a snaha o podporu ve snižování spotřeby z neobnovitelných zdrojů je stále větší a větší. Nicméně s provozem těchto systémů souvisí i mnoho rizik, která v případě neřešení mohou vyústit až ke katastrofálnímu scénáři v podobě rozšíření požáru po celém objektu a tím způsobenou ztrátu finančního charakteru, nutnosti zastavení výroby nebo ohrožení zdraví zaměstnanců.

V současné době nabývají obnovitelné zdroje energie stále většího významu. Fosilní suroviny nejsou udržitelnou volbou pro budoucnost, jelikož se jedná o neobnovitelné zdroje energie, které přispívají k environmentálnímu znečištění. (Hernández-Callejo, Gallardo-Saavedra a Alonso-Gómez, 2019) Zaváděním fotovoltaických systémů je podpořeno dosažení uhlíkové neutrality. Celosvětově se navrhuje vertikální a kombinované fotovoltaické systémy pro konkrétní typy objektů a následně jejich instalace. Vznikají návrhy strategií pro vylepšení kapacity připojení rozvodů kombinací vertikálních instalací s moduly umístěnými s expozicí převažujícího slunečního svitu, studie proveditelnosti udržovacího napětí a tepelné kapacity. (Lee et al., 2024) Zlepšení v návrhu fotovoltaických systémů zaznamenává i pokrok v oblasti nanotechnologie a účinnosti fotovoltaických elektráren.

Sluneční energie je nejčastěji využívána především díky snadné dostupnosti, je však limitována aktuálním svitem. Tato práce se zabývá přehledem fotovoltaických systémů, jejich typem, provozem a údržbou, které představují klíčové prvky pro efektivní využití a přeměnu na energii elektrickou. Při provozu však vznikají také rizika, jakými jsou především výboje elektrického oblouku, selhání napájecího systému elektrárny a v extrémním případě vznik požáru. Analýzy rizik zahrnují aspekty lidského pochybení, technologického selhání, nepříznivých povětrnostních podmínek a dalších faktorů.

Objekty provozující fotovoltaické elektrárny již řadu let na střeších svých budov nebo skladů mohou lehce přehlédnout rizika související s těmito systémy nebo je zcela úmyslně ignorovat. V těchto případech dochází ke stárnutí technologie, neudržování a opotřebením elektrických obvodů. Požární riziko se tím pádem konstantně zvyšuje. Na tuto problematiku navazuje zpřísnování legislativních podmínek a potřeba vzdělávání příslušníků hasičských



záchranných sborů. Z hlediska požární ochrany jsou zásahy proti požáru fotovoltaických systémů problematické zejména z důvodu ztížené dostupnosti v případě umístění na střechách objektů a ztížených podmínek pro samotný zásah při nemožnosti odpojení z elektrické soustavy. Při požáru způsobeným vnějšími vlivy se často musí zvolit varianta zamezení šíření a ponechání shoření požárem napadených panelů. (Hošek, 2011)

Evidencí požárů fotovoltaických elektráren se začalo zabývat Generální ředitelství hasičského záchranného sboru České republiky v roce 2010, kdy byly zaznamenávány především významné požáry. Od roku 2015 byly evidovány požáry bez ohledu na velikost. (Vrbková a Procházková, 2019)

Fotovoltaické systémy umístěné na střeše výrobních objektů jsou dobrým způsobem, jak využít solární energii k výrobě elektřiny pro svůj vlastní provoz, nejenže snižují náklady, ale současně přispívají k ochraně životního prostředí. Nicméně existují rizika spojená s jejich provozem. Cílem práce je pomocí analýzy vyhodnotit rizika související s provozem fotovoltaické elektrárny s nejvyšší pravděpodobností výskytu a možným dopadem na provoz a následně navrhnout vhodná opatření ke zmírnění dopadů na vybrané lokalitě výrobního objektu.

## CÍLE A METODY

### Hlavní cíl

Hlavním cílem práce je navržení opatření ke zmírnění dopadů při požáru fotovoltaické elektrárny na vybrané lokalitě.

### Dílčí cíle

Dílčí cíle slouží k naplnění hlavního cíle a jsou následující:

- na základě dostupných literárních zdrojů byla zpracována rešerše,
- byla provedena analýza rizik souvisejících s provozem fotovoltaické elektrárny na vybrané lokalitě,
- bylo navrženo opatření ke zmírnění dopadů, při havárii fotovoltaické elektrárny na vybrané lokalitě.

Pro vypracování této práce byly použity následující vědecké metody:

### Dedukce

Bakalářská práce vychází z metody dedukce, kdy byl posuzován proces provozu fotovoltaické elektrárny ve vztahu k technickým parametrům a rizikům, které může svou činností vyvinout na objekt a okolí.

### Analýza

Dekompozice procesů fotovoltaického systému na jednotlivé elementy objektu a následné vyhodnocení aspektů rizik na provoz byla podkladem pro zpracování analýzy FMEA.

### Deskripce

Tato metoda byla použita v praktické části při popisu možných zdrojů rizik pomocí SWOT analýzy a následně vytvoření schémat kontroly bezpečnostního provozu fotovoltaického systému pomocí analýzy ETA.

### Statistika

Metoda byla využita v praktické části při vyhodnocení a srovnání havárie v určitém časovém úseku na fotovoltaickém systému při použití analýzy ETA.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY A JEJICH VÝZNAM

Fotovoltaika je technologie, která využívá sluneční záření k přeměně na elektrickou energii pomocí fotovoltaických článků. Slovo "fotovoltaika" je odvozeno z řeckého slova φώς [phos = světlo] a italského příjmení fyzika Alessandra Volty. Tento jev, kdy sluneční záření generuje elektrický proud, byl poprvé prokázán v roce 1839 Alexandrem Edmondem Becquerelem a později fyzikálně popsán Albertem Einsteinem v roce 1905. (Haselhuhn a Maule, 2017)

Sluneční energie je nevyčerpatelným zdrojem, který má obrovský potenciál pro výrobu elektřiny. Množství slunečního záření, které dopadá na zemský povrch, je značné, jedná se o cca 89 petawattů (PW), což odpovídá mnohonásobně vyšší hodnotě, než je současná celosvětová spotřeba energie. To znamená, že sluneční energie má kapacitu pokrýt naši energetickou spotřebu mnohem více, než její výrobou z neobnovitelných zdrojů.

Fotovoltaické systémy umožňují přeměnit sluneční záření přímo na elektrickou energii (fotovoltaickou přeměnou) nebo na tepelnou energii (fototermální přeměnou). Díky neustálému vývoji technologií se fotovoltaika stává stále efektivnějším způsobem výroby elektřiny a je stále atraktivnější alternativou k tradičním zdrojům energie. (Haselhuhn a Maule, 2017)

V České republice roste počet fotovoltaických systémů rok od roku, což vede ke zvýšení instalovaných výkonů čisté energie. Statistiky ukazují, že bylo v loňském roce na území České republiky zprovozněno 82.799 solárních zdrojů, meziročně víc než dvojnásobek s celkovým výkonem 1 393,86 MWp. Tento trend naznačuje rostoucí zájem o obnovitelné zdroje energie. (ČTK, 2024)

I přes mnoho výhod, které fotovoltaika přináší, existují také rizika a z nich plynoucí potřeba zajištění požární bezpečnosti fotovoltaických systémů. Je důležité, aby se s rozvojem fotovoltaických technologií současně zlepšovala i bezpečnostní opatření a postupy pro zajištění bezpečného provozu těchto systémů.

## 1.1 Legislativa v souvislosti s fotovoltaickými systémy a elektrickou energií

Tlak na využívání obnovitelných zdrojů k výrobě energie se rok od roku zvyšuje. Fotovoltaické systémy jsou již řadu let vnímány Evropskou unií i Českou republikou jako jednou z hlavních možností, jak snížit využívání neobnovitelných zdrojů a podmínky pro jejich užívání jsou zakomponovány do mnoha předpisů. Avšak právě z důvodu přesahu do více oborů vznikají komplikace při požadavcích na umístění, instalaci a rizikovost projektů FVE.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady EU 2018/2001 ze dne 11. prosince 2018 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů (přepracované znění), v platném znění stanovuje rámec pro podporu energie z obnovitelných zdrojů, její využívání, spotřebu a spolupráci členských zemí. (EU 2018/2001, 2018)

Zákon č. 283/2021 Sb., stavební zákon stanovuje podmínky pro umístění staveb pro výrobu energie z obnovitelných zdrojů s ohledem na charakter území, instalovaný výkon a potřebu dodržet požární bezpečnost. (Česko, 2021)

Vyhláška č. 114/2023 Sb., o požadavcích na bezpečnou instalaci výrobní elektřiny využívající obnovitelné zdroje energie s instalovaným výkonem do 50 kW stanovuje požadavky na materiálové provedení, vypnutí a odpojení od elektrické instalace a distribuční soustavy a kabelové provedení. (Česko, 2023)

Technické normy v této oblasti jsou zaměřeny především na posouzení způsobilosti konstrukce fotovoltaických modulů, na technickou dokumentaci a její obsah, kritéria posouzení, vizuální defekty, elektrické zabezpečení, modifikace a testování. (ČSN EN IEC 61215, 2021)

Požární bezpečnost výrobních objektů, jejich požární odolnost, reakce stavebních výrobků na oheň, třídění konstrukčních systémů, rizika, výpočet doby trvání požáru a další technické parametry jsou uvedeny v ČSN 73 0804 Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty. (ČSN 73 0804, 2023)

Základní požadavky na elektrickou instalaci nízkého napětí a ochranou před nadproudy jsou uvedeny v ČSN 33 200-4-43. (ČSN 33 2000, 2024) Současně s touto normou je řešena problematika na elektrickou instalaci nízkého napětí a ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti před úrazem elektrickým proudem také v TNI 33 2000-4-41:2020. Technická

normalizační informace se zabývá zejména vyhodnocením rizik možného nebezpečí provozovaných elektrických instalací a zařízení, ochranou automatickým odpojením od zdroje a doplňkovou ochranou. (TNI 33 2000, 2020)

## 1.2 Druhy fotovoltaických článků

Vzhledem k existenci různých typů fotovoltaických článků je nepraktické popisovat všechny z hlediska požárních rizik. V tomto kontextu je výhodné rozdělit FV články do základních skupin a vybrat z nich tři typy pro další analýzu. (Haselhuhn a Maule, 2017)

### Krystalické křemíkové články

Stále převládající fotovoltaické články jsou složeny z tenkých plátek o tloušťce přibližně 200 mikrometrů, které jsou spojeny do modulu, který tvoří fotovoltaický článek. Hlavním materiálem pro tyto krystalické články je křemík, který je druhým nejčastějším prvkem na Zemi, tedy hojně dostupný. Křemík se běžně nevyskytuje v čisté formě, ale pouze ve formě chemických sloučenin s kyslíkem, jako je například křemen nebo písek. Pro výrobu čistého křemíku je nejdříve nutné odstranit nežádoucí kyslík z oxidu křemičitého. K tomu se křemičitý písek zahřívá spolu s uhelným prachem, koksem a dřevěným uhlím v obloukové peci na teplotu mezi 1800 až 1900 °C. Tímto procesem vzniká oxid uhelnatý a tzv. metalurgický křemík s přibližnou čistotou 98 %. Pro elektronické aplikace je však 2 % nečistot příliš mnoho. Fotovoltaický průmysl přijímá pouze stopové množství nečistot, zatímco polovodičový průmysl ještě méně. Surový křemík je tedy dále čištěn prostřednictvím chemických procesů. Je rozemlet na jemno a reaguje s plynným chlorovodíkem a trichlorsilanem, kapalinou s bodem varu 31 °C. Postupným destilováním se nečistoty odstraňují, dokud nedosáhnou požadované úrovně. Nejčistší křemík se získává chemickým oddělováním plynné fáze z trichlorsilanu a vodíku pomocí Siemensovy metody. Oba plyny jsou zavedeny do reaktoru obsahujícího tenké tyče extrémně čistého křemíku, které jsou ohřívány na teplotu mezi 1000 až 1200 °C. Křemík se vylučuje z trichlorsilanu na tyče, čímž vzniká polykrystalický křemík s čistotou 8 až 11 N, což odpovídá minimálně 99,999999 %. Tyče jsou poté rozlámány na zlomky a slouží jako výchozí materiál pro monokrystalické nebo multikrystalické křemíkové plátky s ještě vyšší čistotou, které jsou dále zpracovány na fotovoltaické články. (Dvořák, 2019)

## Monokrystalické křemíkové články

Tyto prvky mají geometrii závislou na počtu odříznutých monokrystalů. Vytvářejí se buňky kulatého, pseudočtvercového nebo čtvercového tvaru s uniformní strukturou a tloušťkou mezi 0,14 a 0,3 mm. Kulaté jednotky jsou cenově výhodnější než ty pseudočtvercové nebo čtvercové, jelikož jejich výroba generuje menší množství odpadu z řezání. Ačkoliv jsou kvůli své nízké účinnosti využití plochy téměř opomíjeny ve standardních modulech, nalézají uplatnění ve speciálních modulech navržených pro integrování do budov, kde je požadována částečná průhlednost, nebo pro domácí fotovoltaické systémy. Rozměry čtvercových monokrystalických prvků se pohybují v rozmezí 10 x 10 cm, 12,5 x 12,5 cm nebo 15 x 15 cm. Rozměry kulatých monokrystalických prvků jsou obvykle 12,5 cm nebo 15 cm. Účinnost takových článků se pohybuje mezi 15 až 19,3 % (u křemíku získaného pomocí Czochralského procesu). (Dvořák, 2019)



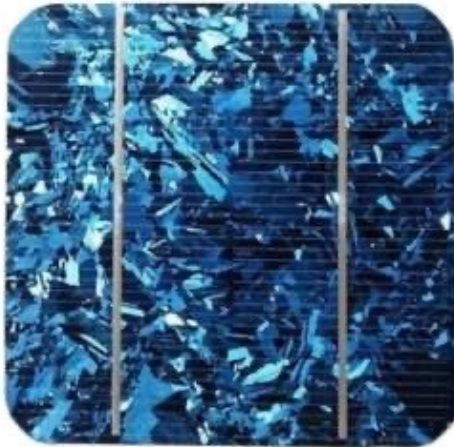
Obrázek 1 Monokrystalický článek.

(Talha a Boker, 2024)

Monokrystalické panely mají v dnešní době nejlepší účinnost. Jejich výroba je však nákladnější, než je tomu u polykrystalických článků, které jsou v našich podmínkách používanějšími.

## Polykrystalické články

Tyto články jsou složeny z většího množství krystalů. Jsou snadno rozpoznatelné díky jejich třpytivému efektu, kterou způsobuje právě krystalické složení. Bývají zpravidla čtvercovitého tvaru. Polykrystalický křemík se získává jednodušší formou, než je tomu u monokrystalické formy. Pro jejich výrobu se využívá metoda blokového lití. Křemík se ve vakuu zahřeje na teplotu kolem 1500 °C a v grafitové nádobě se kontrolovaně ochlazuje až do bodu blízkému tání. Takto vzniknou polykrystalické křemíkové bloky. Ty se nejprve nařežou na tyče, ze kterých se dělají destičky. Vzniklý odpad při tvorbě a řezání je menší, než při výrobě monokrystalických válců. (Haselhuhn a Maule, 2017)



Obrázek 2 Polykrystalický článek.

(Talha a Boker, 2024)

Polykrystalický článek je rozeznatelný na první pohled. Jeho cenová dostupnost a jednodušší výroba jej předurčuje k výstavbě levnějších systémů, které nevyžadují finanční náročnost.

## Tenkovrstvé články

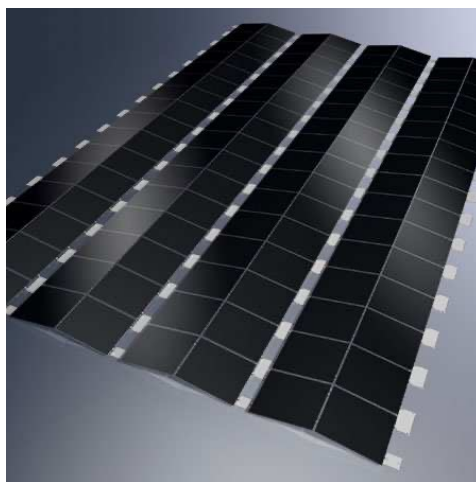
Při výrobě těchto článků se využívá technologie, při níž se fotoaktivní polovodiče a kontakty nanášejí jako tenké vrstvy na nosný materiál, obvykle sklo, pomocí fyzikálního odloučení plynů. Tento proces zahrnuje aplikaci amorfního křemíku (ASi), diselenidu mědi a india (In) nebo teluriditanu kademnatého (CdTe) jako polovodičových materiálů s vysokou absorpcí světla. Tloušťka těchto vrstev je obvykle menší než 0,001 mm a pro



odloučení je zapotřebí nižší teplota (200 až 600 °C) ve srovnání s tradiční výrobou krystalických křemíkových článků při teplotě 1500 °C. (Haselhuhn a Maule, 2017)

Články z diselenidu mědi ( $\text{Cu}_2\text{Se}$ ) a india (In) obsahují aktivní polovodičový materiál ve formě diselenidu mědi a india, který může být legován například galii, čímž vznikají FV články CIGS. Pro výrobu těchto článků se nejprve nosné sklo pokryje tenkou molybdenovou vrstvou pomocí katodového rozprašování pro vytvoření zadního kontaktu. Absorpční vrstva CIS se následně může vytvořit buď odpařením prvků mědi, indium a selenu ve vakuové komoře při teplotách 500 až 600 °C, nebo aplikací jednotlivých prvků jako vrstev při pokojové teplotě, následovanou krátkodobým zahřátím na 500 °C. (Dvořák, 2019)

Je důležité dbát na uzavření povrchu kvůli citlivosti oxidu zinečnatého na vlhkost. Výroba CIS modulů může být efektivní díky rovnoměrnému nanášení na větší plochy, ale může také přinášet různé technické výzvy. V současné době mohou být CIS moduly mezi tenkovrstvými technologiemi nejúčinnější, dosahují však maximální účinnosti kolem 14,5 %. (Bibin a Varadharajaperumal, 2022)



Obrázek 3 Tenkovrstvý solární panel.

(Talha a Boker, 2024)

Jedná se o odlišnou výrobní technologii panelu. Panely jsou lehce tvarovatelné, nejsou náchylné na poškození jako je tomu u běžných panelů s pevnou konstrukcí.

## Články s teluricitanem kademnatým

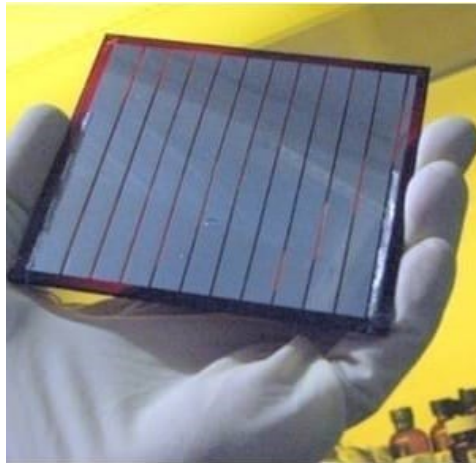
Výroba fotovoltaických článků z kadmium-teluridu (CdTe) je proces, při kterém se tenká vrstva CdS (kadmium-sulfid) s vodivostí typu N a absorpční vrstva CdTe s vodivostí typu P nanáší na nosné sklo. Tato technika zahrnuje aplikaci průhledné vodivé vrstvy oxidu india (ITO) dotovaného cínem na přední straně článku pro vytvoření kontaktu.

Proces výroby probíhá jednoduchým odpařováním materiálů s malými nároky na vakuum. Zdroj odpařování se zahřeje na přibližně 600 °C, zatímco nosné sklo s teplotou 500 °C je drženo nad zdrojem v těsné vzdálenosti a materiál je na něj aplikován. Následně se vrstvy CdS a CdTe aktivují temperováním při teplotě 400 °C v atmosféře s obsahem chlóru, čímž vznikne dvojitá vrstva CdS/CdTe, která se rekrystalizuje. Na závěr je aplikován kovový zadní kontakt naprašováním.

Technologie CdTe je známá svými nízkými náklady a stabilní povahou, přičemž kadmium-telurid jako sloučenina je nejedovatý. Při ohledu na ekologii a bezpečnost je výhodou i to, že kadmium je uzavřeno ve skle, které se taví při nižší teplotě, než samotný kadmium-telurid. (Dvořák, 2019) Účinnost fotovoltaických modulů z CdTe se obvykle pohybuje v rozmezí 7 - 13,5 %, což znamená, že konvertuje 7 - 13,5 % sluneční energie na energii elektrickou. (Bibin a Varadharajaperumal, 2022)

## Nanostrukturované organické a anorganické fotovoltaické články

V současných technologických trendech se zaměřuje pozornost na vývoj fotovoltaických článků s nanometrovými rozměry, které jsou následně integrovány do komplexních modulů. Díky neustálému pokroku v oblasti nanotechnologií po celém světě je možné očekávat, že tyto inovativní články budou postupně pronikat na trh v čím dál větším množství. Existují různé typy organických FV článků, z nichž lze vyzdvihnout barvivem senzitivované a plastové. Co se týče nanostrukturovaných FV článků s anorganickými materiály, zde se využívají tradiční materiály pro FV články jako například křemík a CIS. Tento směr výzkumu a vývoje naznačuje, že budoucnost fotovoltaických technologií může být stále více ovlivněna pokroky v oblasti nanotechnologií a inovací v materiálových vědách. (Wildemann, 2011)



Obrázek 4 Nanostrukturovaný fotovoltaický  
článek. (Wildemann, 2011)

Ideální morfologie organických a hybridních článků je téma velkého zájmu v oblasti vývoje solárních panelů. Účinnost těchto zařízení zaostává za tradičními články. Navrhováním a výzkumem si odborníci na fotovoltaické články kladou za cíl optimalizovat fyzikální vlastnosti těchto nových technologií a zlepšovat jejich výkon.

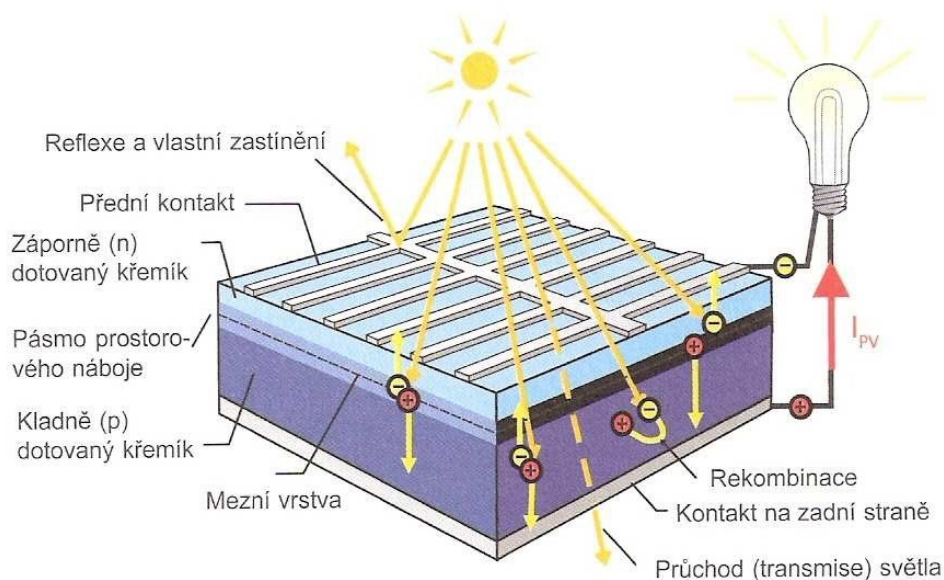
### 1.3 Konstrukční řešení fotovoltaických panelů

Tradiční krystalický solární článek je komplexní strukturou skládající se ze dvou křemíkových vrstev s odlišnými typy dotování, které jsou klíčové pro jeho funkci. Vrstva, která je orientována směrem ke slunečnímu světlu, je záporně dotována fosforem, zatímco vrstva pod ní je kladně dotována bórem. Tato specifická kombinace dotovacích látek umožňuje efektivní sběr a přenos vznikajícího elektrického proudu v článku.

Pro zajištění odběru proudu je na přední a zadní straně článku umístěno několik kovových elektrod, které slouží jako kontakty. Na zadní straně je obvykle použita celoplošná elektroda, zatímco přední strana musí být co nejprůhlednější pro propouštění co největšího množství slunečního světla.

Kontakty na přední straně jsou obvykle realizovány pomocí jemné mřížky, která pokrývá pouze malou část povrchu článku, aby minimalizovala zastiňování a maximalizovala absorpci světla. Na druhé straně je možné aplikovat celoplošnou kontaktní vrstvu s využitím hliníkové nebo stříbrné pasty, což pomáhá optimalizovat elektrický kontakt.

Umístění elektrod se často provádí pomocí metody sítotisku, která umožňuje přesné a spolehlivé aplikování kontaktů na povrch článku. Aby se minimalizoval odraz světla z povrchu článku a maximalizovala absorpce fotonů, jsou na povrchu článků aplikovány speciální antireflexní vrstvy, které pomáhají optimalizovat výkon a účinnost solárního článku. (Hošek, 2011)



Obrázek 5 Složení fotovoltaického panelu, přeměna v krystalickém článku.

(Hošek, 2011)

Pohlcuje-li solární článek jakékoli množství světla, dochází k rozdělení nábojů. Na solárním článku dochází ke ztrátě rekombinací, reflexí a také odstínění předními kontakty. Nejvíce energie se ztrácí ve formě dlouhovlnného, nebo krátkovlnného záření, čehož může být zároveň využito. Dlouhovlnné záření článkem prochází a nepřispívá k tvorbě nosičů náboje. V důsledku toho, články solárního panelu tak mohou využít pouze část slunečního záření. Zbytek energie je absorbován a přeměněn na teplo. (Haselhuhn a Maule, 2017)

#### 1.4 Princip fungování fotovoltaické elektrárny

Základním principem fotovoltaické přeměny spočívá v přítomnosti světla, které je příčným elektromagnetickým vlněním, a to viditelné je v úzkém rozmezí vlnových délek (380 nm – 760 nm). Rozsah slunečního světla je však v mnohem širším spektru nanometru a k přeměně na energii využíváme i záření, které není lidským okem zachytitelné. Vlnění je popsáno již Albertem Einsteinem jako proudění částic fotonů pohybujících se určitou rychlostí. Fotony tak předávají energii elektronům ve valenčních vrstvách atomů materiálu,

na které dopadají, přičemž je nezbytný dostatek volných elektronů. V případě, že máme dostatečný zdroj záření, dodají částice dostatek energie elektronů, dojde k uvolnění elektronu a ten po sobě zanechá volné místo a z neutrálního atomu se stane kladně nabitý. Při dopadu fotonů vzniká teplo, neboť energie dopadajících fotonů není využita beze zbytku. Pro běžné křemíkové články platí, že pro výrobu energie využíváme světlo 1100 nm vlnové délky a kratší, protože využíváme pouze ty fotony, které mají vhodnou energii k uvolnění valenčního elektronu, která odpovídá 1,1 eV. Obecně se uvádí, že zkracující se vlnovou délkou narůstá energie fotonů. (Dudek, 2013)

V minulosti byl nejčastěji používaným materiálem pro exponování na sluneční záření s cílem fotoelektrické přeměny krystalický křemík, ačkoliv postupně ustupuje novým trendům. Pro dosažení co nejefektivnější fotoelektrické přeměny energie potřebujeme materiál s dostatečným množstvím volných elektronů (Dudek, 2013). I když mnoho kovů obsahuje tyto elektrony hojně, vyvstává další výzva v řízení jejich toku tak, aby elektron vypuzený fotonem prošel elektrickým obvodem předtím, než se znovu spojí s dírou. K dosažení tohoto cíle se využívají polovodiče, které umožňují oddělení volných elektronů a děr a vytvoření potenciálu, který řídí proud elektronů. (Haselhuhn a Maule, 2017)

Polovodiče se dělí na vlastní a příměsové. Příkladem vlastního polovodiče je čistý monokrystalický křemík. Příměsové polovodiče se dělí na typ P a typ N. Typ N je vytvořen smícháním křemíku (s 4 valenčními elektrony) s prvkem, který má 5 valenčních elektronů, a tak slouží jako donor (například fosfor). V tomto typu polovodiče vzniká nadbytek volných elektronů, které se stávají dominantními nositeli náboje. Díky tomu má křemík výrazně vyšší vodivost než v čisté formě, protože v něm vznikají volné elektrony. V čistém křemíku se elektrony uvolňují poměrně snadno, protože kovalentní vazby nejsou tak pevné jako u nevodivých materiálů. Elektrický proud v křemíku roste s teplotou, protože je potřeba více energie k uvolnění elektronů. Pro vytvoření rozdílu potenciálů je zapotřebí PN přechod. K tomu se využívají polovodiče typu P, nazývané akceptory. Ty se získávají přidáním příměsí s třemi valenčními elektrony (nejčastěji galium nebo indium) do křemíku, čímž vzniká nedostatek elektronů na zaplnění děr, které se tak stávají dominantními nositeli náboje s kladným nábojem. (Dudek, 2013)

Pro získání rozdílu potenciálů je spojena dvojice polovodičů vytvářející P-N přechod. Pro vyrovnání potenciálů dochází k difuzi volných elektronů z oblasti N do oblasti P, kde zaplňují volné díry. Tento proces se odehrává v tenké vrstvě přechodu, kde dochází k rekombinaci nábojů a vzniku nepohyblivých iontů v oblastech N a P. V této úzké vrstvě

v polovodiči P vzniká záporný náboj po rekombinaci, zatímco v polovodiči N zůstávají díry v oblasti přechodu. V důsledku vzniká elektrické pole, které zastavuje další procesy, čímž se ustavuje rovnováha. Pokud se náboje vyrovnají a rekombinace ustane, vrstva neobsahuje žádné nabitě částice a vykazuje vysoký odpor. (Dudek, 2013)

Fotovoltaický článek je technologický prvek, který využívá principy polovodičové diody k přeměně sluneční energie na elektrickou energii. (Poulek a Poulek, 2009) Tento článek se skládá z tenkých, velkoplošných desek tvořících jednotlivé polovodičové vrstvy, které vytvářejí P-N přechod umístěný v malé hloubce pod povrchem. Když sluneční záření dopadá na vrstvu N fotovoltaického článku, dochází k uvolňování elektronů, které jsou odděleny od děr pomocí P-N přechodu. Tímto procesem se zvyšuje počet elektronů ve vrstvě N a počet děr ve vrstvě P, což vede k vytvoření elektrického napětí s hodnotou kolem 0,5 V. Pro dosažení vyššího výstupního napětí se několik fotovoltaických článků spojuje do série. (Dudek, 2013)

Využití polovodičových materiálů ve fotovoltaických článcích má svá omezení v absorpci slunečního záření, což brání dosažení 100% efektivity i za optimálních podmínek. V současné době se účinnost běžných křemíkových solárních panelů pohybuje v rozmezí 10 - 20 %, zatímco při využití speciálních polovodičových materiálů lze dosáhnout účinnosti až kolem 25 %. V laboratorních podmínkách s použitím pokročilých technologií a zdokonalení může být účinnost solárních článků přes 30 %. V případě složitějších vícevrstvých struktur s koncentrátorovými systémy může být dosažena účinnost až okolo 50 %. (Dudek, 2013) Takové inovace a technologické pokroky v oblasti fotovoltaiky nám pomáhají neustále zvyšovat využití sluneční energie a snižovat závislost na tradičních zdrojích energie s negativními dopady na životní prostředí. (Poulek a Poulek, 2009)

## 2 RIZIKA V KONTEXTU PROVOZU FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN

Fotovoltaické elektrárny jsou pro společnost velkým energetickým přínosem. Musíme se však zaměřit i na druhou stranu, a to jsou rizika spojená s instalací a samotným provozem elektráren. V Česku se za poslední období značně rozšířil zájem o využití energie z obnovitelných zdrojů, kterými jsou vodní, větrná, sluneční, energie z pevné biomasy a bioplynu, geotermální a energie z kapalných biopaliv. Využívání těchto energií se stalo světově podporovaným trendem. I fotovoltaické elektrárny mají svá rizika, která ohrožují bezpečnost při instalaci či samotném provozu elektrárny (FVE). Z hlediska nebezpečí lze pohlížet na instalaci fotovoltaických systémů několika úzce souvisejícími pohledy, jakými jsou statické hledisko nebo požárně-bezpečnostní hledisko. (Hošek, 2011)

### 2.1 Statická bezpečnost fotovoltaické elektrárny

Současné konstrukce jsou při instalaci fotovoltaických elektráren přítěžujícím prvkem. Takovou přítěží je vlastní instalovaná technologie, ke které je třeba přičíst také nadměrné zatížení povětrnostními podmínkami. Zejména na okraji střechy má na instalaci značný vliv proudění větru, a to jak směrem dovnitř (tlak), tak směrem ven od střešní roviny (sání). Neopomenutelný je také tlak na střešní konstrukci v případě zasypání sněhovou pokrývkou. Již při plánování je zapotřebí vybírat vhodné materiály s ohledem na jejich nosnost, technické řešení, kvalitu materiálů a zpracování s ohledem na předpokládanou životnost, způsob a místo instalace. Nejběžnějším materiálem pro instalaci technologie založené na křemíkových článkách je hliník pro svou nízkou hmotnost, který drží celý modul tvořený sklem, vlastních článků a krycí fólie. Pevnost rámu je důležitá jak pro ochranu při dopravě, tak pro vlastní instalaci, kdy je zajištěna pevnost instalovaných modulů. Celý modul fotovoltaické instalace musí odolat teple, mrazu, vodě, ledu, větru i jiným náhodně vzniklým zatížením. Takovou odolnost musí splňovat minimálně po dobu dvaceti let v různých povětrnostních kombinacích. Z toho důvodu se nepoužívají rámy z materiálů, které by těmto podmínkám nebyly schopny odolat. Proto je u solárních modulů důležitá nadstandartní certifikace odolnosti výrobků proti vnějším vlivům. (Hošek, 2011)

## 2.2 Požární (ne)bezpečnost

Fotovoltaické elektrárny jsou pro stavbu potenciálně nebezpečným z hlediska vzniku požáru a mohou ohrožovat jak osoby zasahující proti požáru, tak osoby, které se nacházejí v objektu nebo jeho blízkosti, a to až už je příčina požáru jakákoliv. Riziko lze do značné míry snížit výběrem komponentů a v neposlední řadě také kvalitní instalací. Rizikové je nekvalitní zpracování modulu, u kterého v případě špatného kladení článků dochází k přehřívání, což má za následek vzplanutí podkladové fólie. Dalším rizikem je zapojení a kvalita přípojnicové krabice. Zde je zapotřebí volit takovou krabici, která má zabezpečený systém odvětrávání, což snižuje riziko požáru a má pozitivní vliv na výkonnost celého systému. Pro vedení kabelových tras se používají nehořlavé chránicí lišty, v ideálním případě ještě oddělené kladné a záporné vedení. Vedení, které je vystaveno vlivům počasí (vlhkost, změny teplot, UV záření) je nutno použít v co nejlepší kvalitě určené vystavování povětrnostním podmínkám. Ve zvýšené míře je nutno dbát na správný návrh projektu z hlediska chlazení a zamezení případného oblouku mezi vodiči. Přesto, že většina komponentů pro instalaci fotovoltaické elektrárny má krytí IP65 určené pro instalaci ve venkovním prostředí, je lepší instalované díly chránit před povětrnostními podmínkami. (Hošek, 2011)

Při požáru objektu, na kterém se nachází fotovoltaická elektrárna pro výrobu elektrické energie, plyne riziko pro zasahující hasiče zejména z toho, že fotovoltaické moduly energii produkují na základě míry svitu, a to nelze vypnout jedním stisknutím nouzového tlačítka. Takovou situaci řeší tzv. protipožární spínač, který odpojí soustavu sériově zapojených modulů co nejdříve k fotovoltaickým panelům. V případě, že dojde k odpojení elektrické přípojky objektu, zůstanou odpojeny moduly a zařízení přestává být nebezpečné pro osoby zasahující na místě požáru.

### 2.2.1 Požadavky na bezpečnou instalaci

Vyhláška č. 114/2023 Sb., o požadavcích na bezpečnou instalaci výrobní elektrárny využívající obnovitelné zdroje energie s instalovaným výkonem do 50kW taxativně vymezuje požadavky na materiály, které jsou vhodné pro instalaci fotovoltaické elektrárny s reakcí na oheň A1 nebo A2. Dalším požadavkem dle vyhlášky je bezpečné vypnutí a odpojení výroby elektrárny od elektrické instalace tím způsobem, že je odběrné místo odpojeno od všech možných směrů napájení. Takové vypnutí musí být zajištěno vypínacím prvkem, který je volně přístupný, ale současně je zabráněno jeho zneužití. Dále vyhláška



klade důraz na použití kvality materiálu pro kabelové rozvody a umístění rozvaděče na konstrukcích, které splňují třídu reakce na oheň A1 nebo A2. V případě, že nelze vyhovět umístění rozvaděče na nehořlavý materiál, musí být pro tyto účely zřízena nehořlavá podkladová plocha o půdorysu 500 mm. Prostupy kabelových rozvodů dělicími konstrukcemi musí být v souladu s požární odolností dle ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb. (ČSN 73 0810, 2016)

### **2.2.2 Bojový řád jednotek pro zásah na fotovoltaické elektrárny**

Problematika fotovoltaických elektráren je jedním z důležitých témat při likvidaci mimořádné události. V návaznosti na zvyšující se nárůst těchto systémů a technologický rozvoj, bylo zapotřebí vytvořit postupy k eliminaci nebezpečí pro zasahující hasiče. Tyto metodické listy definují rizika vzniku závady fotovoltaických systémů, zejména v podmínkách následného požáru a vytváří odpovídající procesy pro jejich lokalizaci a likvidaci. V roce 2017 proběhla aktualizace Bojového řádu, do které bylo nově zahrnuto několik metodických listů. Metodický list P 48 Požár fotovoltaické elektrárny, P 49 Požár střešních konstrukcí s trubicovým fotovoltaickým systémem. Dále je vhodné zmínit související témata zpracovaná v rámci metodických listů Bojového řádu N 14 Nebezpečí úrazu elektrickým proudem a P 25 Hašení vodou elektrických zařízení a vedením pod napětím do 400 V. Metodické listy upravují jak charakteristiku zásahu u fotovoltaických systémů, úkoly zasahujících jednotek požární ochrany, tak vhodné postupy činností, které by s ohledem na danou situaci měly vést k úspěšnému provedení zásahu, záchrany osob, zvířat či majetku. Hlavním úkolem těchto bojových listů je bezpečnost zasahujících hasičů. (Pecl, 2020)

### 3 DÍLČÍ ZÁVĚR

Teoretická část shrnuje fotovoltaické elektrárny a jejich význam, zahrnuje legislativní podmínky, normy a metodické návody pro účinný a efektivní provozování fotovoltaických systémů. Rozdělením FVE panelů na jednotlivé druhy je kladen důraz na jejich výhody či nevýhody, technologické parametry, chemické složení a zejména konstrukční řešení. Ve druhé části je definován princip fungování a pospána rizika v kontextu provozu FVE se zaměřením na statickou bezpečnost, požární nebezpečnost a požadavky na bezpečnou instalaci dle vyhlášky č. 114/2023 Sb., o požadavcích na bezpečnou instalaci výrobní elektřiny využívající obnovitelné zdroje s instalovaným výkonem do 50 kW.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 CHARAKTERISTIKA VYBRANÉ LOKALITY

Studovaná oblast spadá do katastrálního území Mladoňovice na Moravě, obec Mladoňovice s pověřenou obcí Jemnice. Okresním městem je Třebíč v kraji Vysočina. (Bokr, 2024)

Klimatické a geomorfologické podmínky jsou jedním z hledisek potřebných pro vhodné vyhodnocení rizikovosti v případě vzniku požáru a jeho následného šíření. Vzhledem ke skutečnosti, že se objekt nachází na otevřeném prostranství obklopen keři, náletovými dřevinami a převážně loukami, je pravděpodobnost šíření potenciálně vzniklého požáru v letním období vyšší.

### 4.1 Popis objektu

Plochy výroby a skladování v obci Mladoňovice se rozkládají na celkem 2,24 ha, což činí 10,1 % z výměry zastavěného území, zastavitelné plochy pro výrobu a skladování celkem činí 3,21 ha (Chloupek, 2015).

Objekt se nachází v jihovýchodní části obce Mladoňovice, na parcele o výměře 3049 m<sup>2</sup>. Je tvořen administrativní budovou, osmi sklady dřeva, sklady chemických látek a výrobní halou. Je zaměřen na výrobu kovových konstrukcí a jejich součástí, výrobků stavebního truhlářství a tesařství a jejich obrábění. Provoz je osmihodinový, jedná se pouze o ranní směny. Výroba je založena na používání chemických látek, které jsou umístěny ve skladech hořlavých kapalin I – IV. třídy (SWN Moravia s.r.o., 2015).

Sklady o velikosti 25 m x 6 m jsou opatřeny hliníkovými střechami, stojícími na kovových konstrukcích s betonovým podkladem. Po stranách těchto skladů jsou umístěny stínící sítě. V zadní části areálu se nachází sklady hořlavého materiálu, které jsou chráněny uzamčenými bezpečnostními dveřmi. Areál je oplocen po celé délce svařovaným pletivem o výšce 1,7 m, bez vrcholových zábran nebo podhrabových systémů.

Fotovoltaické panely jsou umístěny na sedlových střechách skladů se dřevem v množství 68 monokrystalických panelů na každé straně střechy.



Obrázek 6 Mapový podklad objektu SWN Moravia, s.r.o. s fotodokumentací jednotlivých budov. (Vlastní zpracování, 2024)

Objekt je situován na okraji obce Mladonovice, na jednotlivých fotografiích jsou znázorněny řešené objekty. Žluté orámování značí umístění fotovoltaických panelů. Jedná se o osm skladovacích objektů. Pod písmenem A je zaznačen vjezd a vstup do objektu vedlejší branou, zabezpečenou visacím zámekem. Pod písmenem B je umístěn hlavní vjezd a vstup s pojízdnou bránou řízenou elektronicky. Budova C je administrativní budova, která se rozprostírá na dvou podlažích. V provozní době se zde nachází cca dvacet zaměstnanců.

## 4.2 Chemické látky v objektu

Jedná se o výrobu schodišť, v níž se používají převážně nátěrové hmoty, tedy chemické látky s hořlavými vlastnostmi. Převažující látkou je butylacetát v množství cca 2400 l.

Dle bezpečnostního listu se jedná o látku s těmito standardními větami nebezpečnosti:

H226 – Hořlavá kapalina a páry

H336 – Může způsobit ospalost nebo závratě

Prevence je definovaná v pokynech pro bezpečné zacházení větou:

P210 – Chraňte před teplem, horkými povrchy, jiskrami, otevřeným ohněm a jinými zdroji zapálení. Zákaz kouření.

Z těchto informačních pokynů jasně vyplývá, že neřešený nebo nezabezpečený zdroj otevřeného ohně může způsobit synergický efekt.

Vhodnými hasivy pro opatření pro hašení požáru je vodní sprcha, pěna odolná vůči alkoholu, suchý hasicí prášek, BC-prášek nebo oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>). Mezi nevhodná hasiva spadá vodní proud. (Roth, 2015)

## 4.3 Vstup pro složky integrovaného záchranného systému

Objekt nemá řešen přístup pro HZS v případě vypuknutí požáru. V případě, že by došlo k havárii způsobené požárem, příjezd dobrovolné jednotky by byl rychlejší a předpokládá se vypáčení nebo prolomení zámku vstupní brány. V pracovní době se předpokládá, že by byl vjezd jednotek umožněn zaměstnanci.

## 5 ANALÝZA RIZIK FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY

Při provozu zcela běžně užívaných fotovoltaických elektráren vzniká mnoho rizik, která si provozovatelé často ani neuvědomují. Kombinací semikvantitativních a kvantitativních analýz je proveden rozbor potenciálních rizik provozu fotovoltaické elektrárny v objektu se zvýšeným rizikem požáru. Práce je zaměřena na SWOT analýzu, která definuje jak interní, tak externí prostředí ve vztahu nejen k hrozbám a slabým stránkám. Pomocí analýzy FMEA jsou identifikována konkrétní rizika plynoucí z provozu FVE systému a nejhorší scénáře jsou vyhodnoceny pomocí analýzy ETA.

### 5.1 Identifikace rizik

Identifikace rizik spočívá v nalezení hrozeb ve vztahu k instalaci a provozu fotovoltaické elektrárny a možných negativních vlivů na okolní prostředí nebo objekt samotný.

Nalezení rizik vychází z osobní obhlídky objektu, řízených rozhovorů s provozovatelem a konzultací s jednotkou hasičského záchranného sboru. Při popisu možných zdrojů rizik byly použity metody dedukce a deskripce, následně pomocí SWOT analýzy byly vyhledány potenciální rizika ve vztahu k vnitřnímu a vnějšímu prostředí objektu.

#### 5.1.1 SWOT analýza

SWOT analýza vychází z hodnocení silných a slabých stránek zaměřených na vnitřní prostředí hodnoceného problému a příležitostí, hrozeb pro prostředí vnější. Tyto čtyři složky definují interní nebo externí aspekty. Silné stránky se zabývají zkoumáním vnitřních prvků, které posilují dosažení cíle, zatímco slabé stránky se týkají vnitřních prvků, které narušují nebo mohou negativně ovlivnit funkci zkoumaného systému. (Benzaghta et al., 2021)

SWOT je zkratka z anglického originálu, kde S = Strengths (Silné stránky), W = Weaknesses (Slabé stránky), O = Opportunities (Příležitosti), T = Threats (Hrozby). SWOT je tedy zkratkou pro vnitřní silné a slabé stránky organizace a příležitosti a hrozby z vnějšího prostředí organizace. (Grasseova, Dubec a Řehák, 2012)

Identifikace rizik vnitřního prostředí byla zaměřena na technické, provozní a ekonomické aspekty.

Tabulka 1 Posouzení vnitřního prostředí ve vztahu k silným a slabým stránkám.  
(Vlastní zpracování, 2024)

	<b>Silné stránky</b>	<b>Váha</b>	<b>Význam</b>	<b>Bilance</b>
<b>Vnitřní prostředí</b>	Nižší náklady na spotřebu energie	0,2	5	1
	Minimální životnost 20 let	0,1	5	0,5
	Bezpracný provoz bez potřeby zvýšené údržby	0,05	3	0,15
	Dostupnost informací o FVE	0,13	3	0,39
	Možnost použití akumulátorových jednotek	0,1	2	0,2
	Zvýšení energetické soběstačnosti	0,2	3	0,6
	Certifikované materiály pro výrobu FVE	0,08	4	0,32
	Zajištění bezpečného odpojení	0,03	5	0,15
	Záložní zdroj energie	0,11	2	0,22
	<b>Celkem</b>	<b>1</b>		<b>3,53</b>
	<b>Slabé stránky</b>			
	Vysoké náklady na zavedení FVE	0,1	-2	-0,2
	Omezená účinnost fotovoltaických panelů	0,3	-4	-1,2
	Požární riziko	0,19	-3	-0,57
	Náročnost na instalaci	0,15	-5	-0,75
	Statická nebezpečnost FVE	0,05	-4	-0,2
	Zvýšená náročnost na údržbu	0,01	-3	-0,03
	Nevhodně navržená instalace	0,05	-4	-0,2
	Komplikace při zásahu v případě požáru	0,05	-5	-0,25
Nezajištěné bezpečné odpojení v případě potřeby	0,1	-5	-0,5	
<b>Celkem</b>	<b>1</b>		<b>-3,9</b>	

Nejvýznamnějšími silnými stránkami vnitřního prostředí byly vyhodnoceny nižší náklady na spotřebu energie a životnost minimálně 20 let. Naopak slabými stránkami byly především rizika, týkající se instalace a její náročnosti, mnohdy nezajištěného bezpečnostního odpojení ze sítě v případě potřeby a tím vznikající komplikaci při zásahu složek IZS při vzniku požáru.



Tabulka 2 Posouzení vnějšího prostředí ve vztahu k hrozbám a příležitostem. (Vlastní zpracování, 2024)

Vnější prostředí	<b>Příležitosti</b>	<b>Váha</b>	<b>Význam</b>	<b>Bilance</b>
	Překonávání stereotypů	0,05	1	0,05
	Možnost finanční podpory z dotací	0,1	3	0,3
	Možnost dodávky elektrické energie do veřejné sítě	0,16	2	0,32
	Světově podporovaný trend	0,1	4	0,4
	Finanční úspora	0,18	5	0,9
	Možnost prodeje elektrické energie	0,05	2	0,1
	Zvýšení konkurenceschopnosti	0,06	2	0,12
	Efektivní a ekologické řešení	0,12	4	0,48
	Zlepšení udržitelnosti ve vztahu k životnímu prostředí	0,18	2	0,36
	<b>Celkem</b>	<b>1</b>		<b>3,03</b>
	<b>Hrozby</b>			
	Nezajištěna likvidace FV panelů	0,2	-5	-1
	Změna požadavků norem ČSN	0,08	-4	-0,32
	Restrikce ze strany legislativy	0,07	-4	-0,28
	Nemožnost zásahu HZS v případě neodpojení FVE	0,1	-5	-0,5
	Snížení důvěryhodnosti v případě vzniku havárie	0,1	-4	-0,4
	Narušení stability procesů	0,02	-3	-0,06
	Riziko vystavení povětrnostním vlivům	0,2	-4	-0,8
	Nestabilita na trhu	0,05	-2	-0,1
Výrazné klimatické změny	0,18	-3	-0,54	
<b>Celkem</b>	<b>1</b>		<b>-4</b>	

Identifikace rizik vnějšího prostředí byla zaměřena na rizika, která mohou ovlivnit nejen funkci vlastní FVE, ale také okolí se vztahem na podmínky definované státem. Finanční úspora za spotřebu energie je jedním z hlavních důvodů pořizování FVE. Jako velkou hrozbu až globálního charakteru lze považovat stále nedořešenou likvidaci fotovoltaických panelů a tím možnou vznikající ekologickou zátěž pro životní prostředí v blízké budoucnosti.

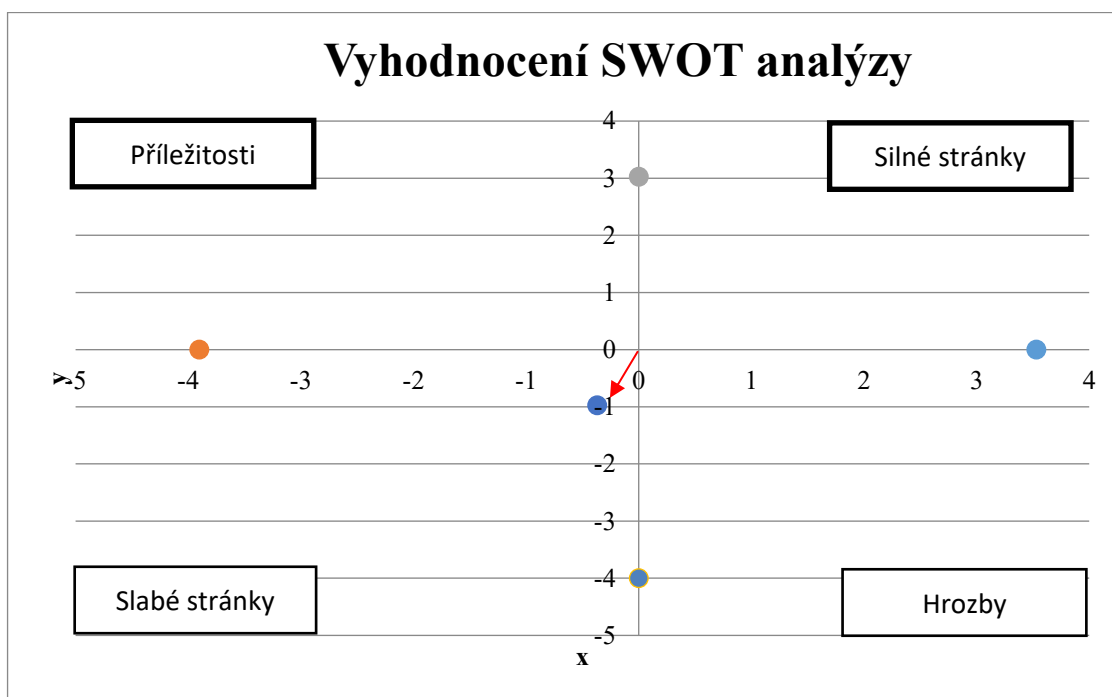
Stupnice hodnotících kritérií byla zvolena následovně, viz Tabulka 4.

Tabulka 3 Hodnocení kritéria významnosti aspektů.

(Vlastní zpracování, 2024)

Význam	Kvantifikace
1	zanedbatelný význam aspektu
2	nízký význam aspektu
3	významný aspekt
4	silně významný aspekt
5	extrémně významný aspekt

Kvantifikace byla zvolena na pětistupňové hranici, s významností od zanedbatelného po extrémně významný aspekt. SWOT analýza byla prováděna ve čtyřčlenném týmu, který se skládal z členů majitelů a vedoucích zástupců.



Graf 1 Vyhodnocení SWOT analýzy pro FVE. (Vlastní zpracování, 2024)

SWOT analýza poukazuje na strategii Weakness – Opportunities (WO), tedy odstranění slabých stránek, které by mohly ohrožovat využití příležitostí.

## 5.2 Vybrané metody analýzy rizik

Dekompozice jednotlivých elementů a následné vyhodnocení aspektů rizik na provoz navazuje na identifikaci rizik. Pomocí metody FMEA je vyhodnocena je vyhodnocena míra rizik se zaměřením na nejvyšší, které je následně zpracováno pomocí analýzy ETA.

### 5.2.1 Failure Mode and Effects Analysis

Metoda FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), což znamená Analýza možných vad a jejich následků, obvykle není překládána a často se používá zkratka FMEA. Jedná se o analytickou techniku navrženou k identifikaci potenciálních míst vzniku vad či poruch v systémech. Tato metoda byla vyvinuta v 60. letech minulého století ve Spojených státech během vesmírného programu APOLLO organizace NASA jako prostředek pro odhalení závažných rizik. První civilní aplikace této metody se objevila asi o deset let později u společnosti Ford v důsledku špatné kvality projektu Ford Pinto, na kterém byla FMEA poprvé použita. Na počátku 80. let byla metoda FMEA zahrnuta do jednotné příručky a začleněna do normy ISO 9000. Během posledních dvaceti let se metoda FMEA postupně rozvíjela a rozšiřovala, což vedlo k vzniku dalších metod jako například VDA, FMECA atd., které buď navazují na tuto metodu nebo mají s ní pevný základ. (Petrašová, 2008)

Pro vyhodnocení rizik možného vzniku požáru na fotovoltaické elektrárně a panelech umístěných na střeše skladu se dřevem je použita následující stupnice míry rizika:

Tabulka 4 Hodnotící stupnice analýzy FMEA. (Vlastní zpracování, 2024)

Význam		Výskyt			Pravděpodobnost odhalení	
Zanedbatelný	1	Zanedbatelný	1	<1 / 1000	S jistotou	1
Malý	2	Malý	2	<5 / 1000	Vysoká	2
Střední	3	Střední	3	<10 / 1000	Značná	3
Značný	4	Značný	4	<50 / 1000	Nepatrná	4
Vysoký	5	Vysoký	5	>50 / 1000	Nepravděpodobná	5

Význam značí, jak velkou roli hraje chráněný zájem a možné následky z narušení pro organizaci a její fungování. Míra výskytu poukazuje na četnost rizika při provozu FVE a pravděpodobnost odhalení udává stupnici pro možnost rychlé detekce ještě před případným vznikem nebezpečí.

Nadcházející tabulka je součin a vymezení stupnice pro určení míry celkového rizika.

Tabulka 5 Stanovení míry rizika.

(Vlastní zpracování, 2024)

Rizikové číslo (RN)	
65 - 125	Vysoké riziko
28 - 64	Střední riziko
1 - 27	Nízké riziko

Červenou barvou, na stupnici od 65 do 125 je zvýrazněno riziko nejvyšší, které je potřeba neprodleně řešit ošetřením. Do středního rizika spadají hodnoty v rozmezí od 28 do 64. Tato rizika je potřeba ošetřit některou z mitigačních metod, tedy ukončit provoz FVE, převést riziko na jiný subjekt, tolerovat riziko v případě, že to nezpůsobí riziko sekundární nebo jej snížit.

Tabulka 6 Vyhodnocení možných rizik pomocí analýzy FMEA. (Vlastní zpracování, 2024)

Proces	Současný stav									Budoucí stav
	Popis možného rizika	Projev možného rizika	Možné následky rizika	Význam	Možná příčina rizika	Výskyt	Stávající způsoby opatření	Odhaditelnost	Rizikové číslo (RN)	Opatření
Požár na FVE	požár panelu	požár	poškození FVE, odstavení mimo provoz	3	neproběhlá revize, špatná elektroinstalace, nemožnost odpojení od zdroje EE, nemožnost zásahu HZS	3	Pravidelné revize a údržba FVE	5	45	Smluvně zařízené revize FVE
	požár střechy skladu	Postupé vzplanutí celé střechy umístění FVE	poškození FVE	4	neprovedený servis, neodstranění závady	3	Pravidelné revize a údržba FVE	5	60	Smluvně zařízené revize FVE, kontrola elektroinstalace
			poškození střechy skladu, poškození materiálu ve skladu	4	nemožnost hašení, zborcení konstrukce střechy	2	Kontrola stability střechy a ochrana uskladněného materiálu	4	32	Statické posouzení
			zborcení střechy	4	nehodná konstrukce, překročená nosnost konstrukce	2	Kontrola stability střechy, statické posouzení	3	24	Statické posouzení
			úraz/smrt pádem konstrukce skladu	4	neprovedený servis, neodstranění závady, nehodná konstrukce, překročená nosnost konstrukce	2	Kontrola stability střechy, statické posouzení	4	32	Statické posouzení, kontrola
			Rozšíření požáru po celém objektu	5	neprovedená údržba, neodstranění závady	3	Pravidelné revize a údržba FVE	5	75	Záznam o údržbě a revizích FVE
	požár v objektu	požár	poškození střech skladů a materiálů v nich	5	nezajištění budov proti požáru	4	žádné	5	100	Požární bezpečnostní řešení

			rozšíření požáru ke skladu s hořlavými látkami	5	nezajištěný sklad hořlavin proti požáru	3	žádné	5	75	Požárně bezpečnostní řešení
			destrukce objektu	5	nestabilita budov, chybějící PBR	2	žádné	4	40	Požárně bezpečnostní řešení
			produkce emisí z komponentů panelů	5	chemické složení panelů	2	žádné	5	50	Požárně bezpečnostní řešení
Porucha FVE	Porucha funkčnosti FVE	nemožnost ovládat FVE, nefunkčnost FVE	nemožnost FVE použít k výrobě EE, odstavení od EE, finanční ztráta	3	neprovedený servis, revize, neodstranění závady	3	žádné	4	36	Pověření způsobilé osoby k pravidelné revizi, záznam o revizi
	Porucha elektroinstalace FVE	Oblouková závada	Zkrat, úraz EE	3	neprovedená revize, neodstranění závady	3	žádné	5	45	Pověření způsobilé osoby k pravidelné revizi, záznam o revizi
		Závada v uzemnění	Zkrat, úraz EE	3	neprovedená revize, neodstranění závady	3	žádné	5	45	Pověření způsobilé osoby k pravidelné revizi, záznam o revizi
	Poškození panelu	Ztráta funkčnosti	Odstavení z provozu, nemožnost výroby EE	3	neprovedený servis, neodstranění závady	3	žádné	5	45	Pravidelná údržba a záznam
Technická instalace	posunutí FVE panelu	skluz	poškození panelu	2	nerovnost povrchu střechy, nevhodná nosná konstrukce, kluzký povrch, nestabilita	1	kontrola stability skladů s umístěním FVE panelů	4	8	Záznam o kontrole
	pád FVE panelu	skluz, pád	poškození panelu, poškození materiálu ve skladu, úraz	4	nerovnost povrchu střechy, nevhodná nosná konstrukce, kluzký povrch, nestabilita	2	kontrola stability skladů s umístěním FVE panelů	2	16	Záznam o kontrole
Havárie	Havárie na FVE	úmyslné poškození	nemožnost FVE použít k výrobě EE, odstavení od EE, finanční ztráta	4	vnik cizí osoby s úmyslem poškození objektu	1	zamezení vniku cizích osob pomocí MZS	5	20	
		přírodní živly	nemožnost FVE použít k výrobě EE, odstavení od EE, finanční ztráta	4	nepříznivé meteorologické podmínky	3	žádné	5	60	Školení pracovníků skladu

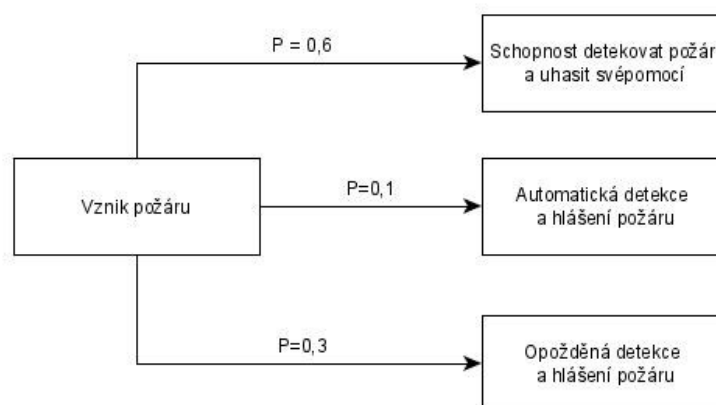
Analýza FMEA poukazuje na nejvyšší riziko v případě požáru střechy a dalšího šíření v rámci objektu. Tento požár může způsobit poškození FVE panelu, jednotlivých střech skladovacích objektů, materiálu umístěných ve skladech nebo rozšířením v rámci celého objektu škody na dalších skladech, v nichž jsou umístěny hořlavé látky třídy I. – IV. a následnou destrukcí celého objektu včetně ohrožení životů zaměstnanců.

Mezi rizika střední míry patří zejména požár jednotlivých panelů, úraz vzniklý pádem panelu v případě špatně zvolené konstrukce nebo jejího poškození, zkrat na elektrickém připojení z důvodu obloukové závady nebo v případě nevhodného uzemnění. Havárii na FVE s nemožností predikce mohou způsobit přírodní živly, jakými jsou blesk, silná bouře, přívalové deště nebo nadměrné krupobití.

### 5.2.2 Event Tree Analysis

V analýze příčin a následků se zkoumá, co se může stát po problému nebo události. Používají se stromy událostí a poruchové stavy k identifikaci možných scénářů. Cílem je pochopit, jaké důsledky může mít problém a jak často se mohou tyto důsledky vyskytnout. Analýza stromu událostí se používá k detailnímu zkoumání možných postupů událostí a jejich nejpravděpodobnějších výsledků po výchozí události. Po této události může následovat několik dalších událostí nebo důsledků. Pravděpodobnost, že se určitá posloupnost událostí uskuteční, se spočítá jako součin pravděpodobností jednotlivých událostí v této posloupnosti. (Legát, 2007)

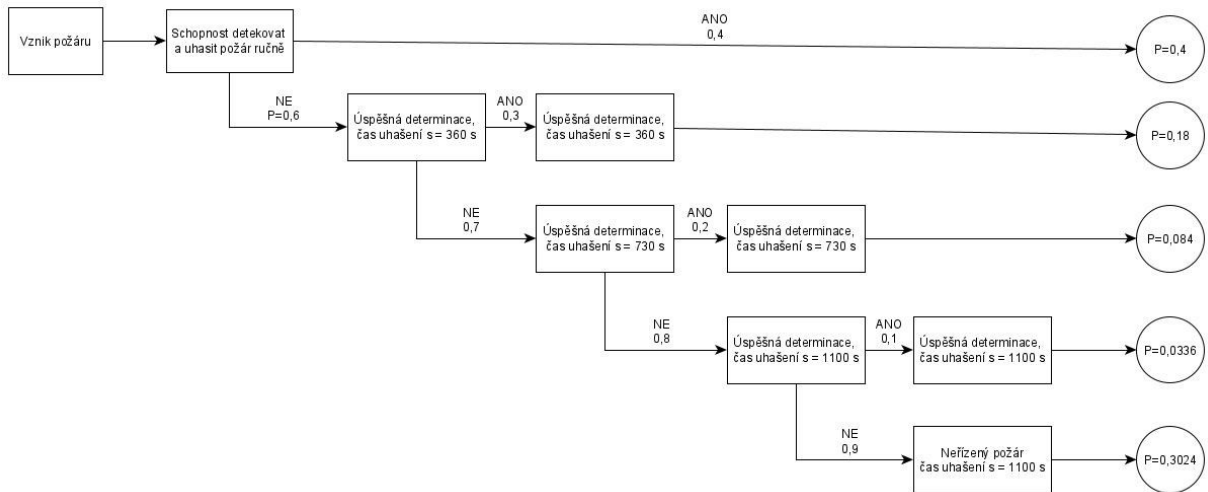
Prvotním krokem je rozdělení schopnosti detekce požáru a rozdělení pravděpodobnosti.



Obrázek 7 Řízení iniciace požáru. (Vlastní zpracování, 2024)

Schéma poukazuje na skutečnost, že v objektu není instalována automatická signalizace požáru a schopnost detekce a včasného zásahu spočívá primárně na zaměstnancích objektu.

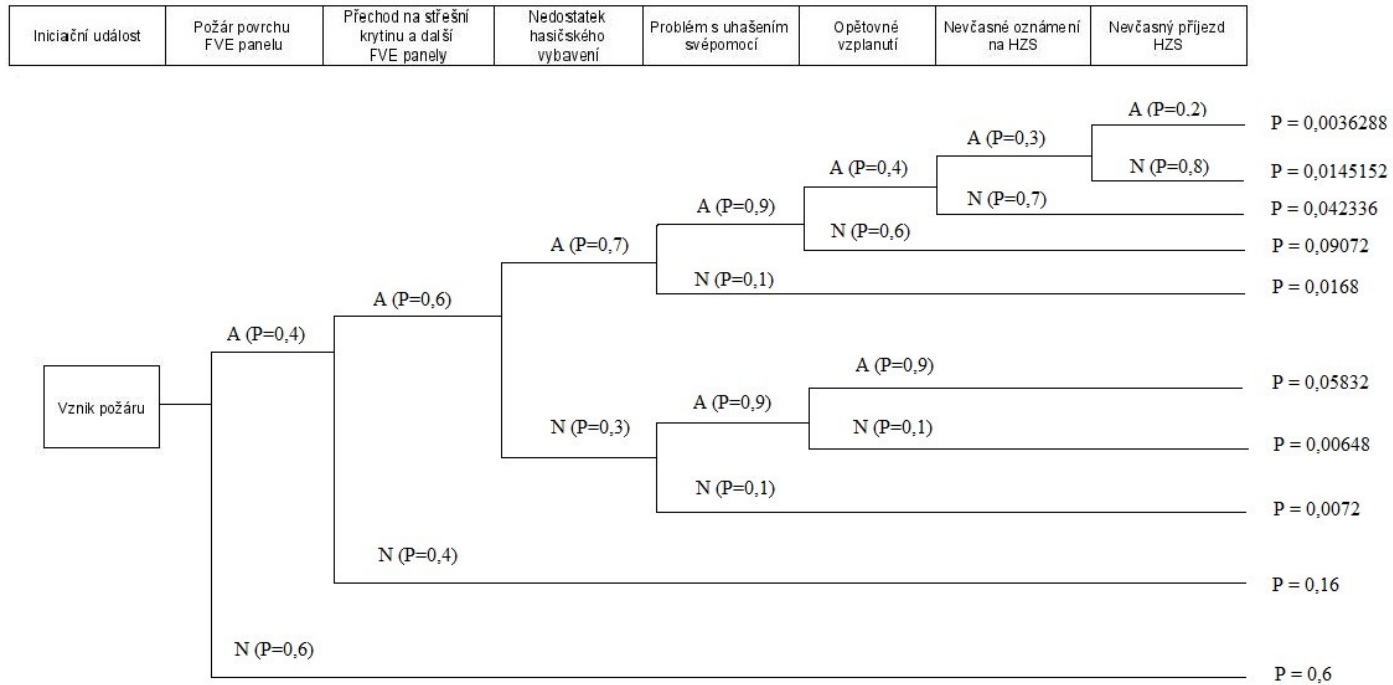
Schéma níže popisuje vztah mezi časovou prodlevou a šířením požáru v případě nemožnosti uhašení svépomocí



Obrázek 8 Scénář rozvoje požáru v určitém čase za použití analýzy ETA. (Vlastní zpracování, 2024)

S neúspěšnou determinací požáru a neschopností včasného zásahu se zvyšuje pravděpodobnost, že se požár rozšíří do neřízeného. Předpokládaná doba, že dojde k této situaci je 1100 sekund, pravděpodobnost za předpokladu, že nedojde k včasné determinaci ani uhašení je třicetiprocentní. V případě, že je požár zpozorován okamžitě a jsou podniknuty kroky k jeho eliminaci, je vysoká téměř čtyřicetiprocentní pravděpodobnost, že nedojde k dalšímu šíření, tedy ani škodě.





Obrázek 9 Analýza rizik vzniku požáru na FVE pomocí metody ETA. (Vlastní zpracování, 2024)

Největším rizikem je požár, z toho důvodu byl zvolen za iniciační událost v analýze ETA. Za předpokladu neřešeného nebo včasne neohlášeného požáru může vzniknout neřízený požár systému FVE. Analýza se dále zabývá problémem nedostatku hasičského vybavení v objektu nebo nevčasným ohlášením požáru složkám IZS.

Nejhorším scénářem je předpoklad, že se požár rozšíří na střešní krytinu, bez dostatku hasicí techniky a s tím související nemožnost uhašení svépomocí. V případě, že vznikne opětovné vzplanutí a nebudou do této doby přivolány složky IZS, požár se může začít šířit nekontrolovatelně a po celém objektu. V případě použití vhodné hasicí techniky svépomocí v době vzniku požáru a okamžitého odpojení od elektrické soustavy lze pravděpodobnost šíření požáru značně snížit.

### 5.3 Hodnocení rizik

Pomocí analýzy SWOT bylo zjištěno, že vhodnou strategií je eliminace slabých stránek k posílení příležitostí. Omezená účinnost FVE panelů lze zvýšit pomocí pravidelné údržby a servisů, současně s elektro revizemi. Statická nebezpečnost ve spojení s živelnými pohromami může vyvolat zřícení nebo posunutí panelu FVE a tedy ohrozit nejen fungování samotné elektrárny, ale současně život nebo zdraví zaměstnanců. Požární riziko a s ním související komplikace při zásahu proti požáru je vyhodnoceno jako nejvyšší i v rámci analýzy FMEA a z toho důvodu je dále hodnoceno pomocí analýzy ETA. V souvislosti s nemožností odpojení od hlavního přívodu elektrické energie je téměř nemožno zásah uskutečnit. V tomto případě je nejlepší volnou nechat hořící panel shořet.

Eliminací zdrojů rizik slabých stránek budou posíleny příležitosti, jakými jsou finanční úspora, možnost dodávky do veřejné sítě a možnost jejího prodeje.

Pomocí analýzy FMEA, která probíhala formou týmové spolupráce s vedením organizace, bylo vyhodnoceno nejvyšším rizikem rozšíření požáru po celém objektu, včetně skladu s hořlavým materiálem. Samotný problém se vznikem požáru, možnost omezení šíření a jeho uhašení byla vyhodnocena pomocí analýzy ETA. Nejnižší pravděpodobnost uhašení tvoří scénář, kdy požár jednoho panelu není možno uhasit a dojde k rozšíření na střešní krytinu skladovacího objektu, v případě chybějícího hasičského vybavení vzniká problém s uhašením svépomocí a může dojít k opětovnému vzplanutí. Nevčasné oznámení složkám HZS nebo jejich nevčasný příjezd může způsobit rozšíření po celém objektu.

## 5.4 Navržená opatření

Pravidelná kontrola konstrukční části dokáže zabránit uvolnění panelů a případným škodám na fotovoltaické elektrárně i na dalším majetku a zdraví osob. Kontrola kabelových vedení dokáže včas odhalit mechanické poškození kabelů a výpadků ve výrobě elektrického produktu. Mezi další kontrolované části patří jističe a pojistky, které by mohli mít za následek přechodový odpor způsobující zahřívání a následný vznik požáru. Důležitá je taktéž kontrola a čištění filtrů střídače, což pomůže snížit spotřebu elektrické energie na chodu ventilátoru a současné odstranění prachu snižuje riziko požáru. Nežádoucí teplotní změny a tím případně poruchu, či dokonce začínající požár na fotovoltaickém zařízení lze odhalit kontrolou pomocí termovizní kamery. Takové zařízení umí ukázat teplotní rozdíl v reálném čase.



Obrázek 10 Termokamera Flir. (FLIR E96, 2023)

Nejvhodnější je provádět kontrolu jak v periodických intervalech, tak i náhodně a v případě změny či viditelné poruchy učinit neprodleně nápravu, aby nedošlo k poškození fotovoltaické elektrárny nebo konstrukce, na které je technologie namontována.

Opatření ke snížení rizika vzniku požáru FVE panelů umístěných na střeše skladovacích objektů spočívají především ve správné elektroinstalaci, pravidelné revizi EE se záznamem, údržbou povrchů FVE panelů a prováděným servisem. Dále je potřeba zabezpečit školení zaměstnanců v případě vzniku požáru, dostupnosti prostředků hasební techniky a postupu odpojení hlavního elektrického přívodu, případně hašení. Mezi základní požadavky na zaměstnance se řadí poučení, jakým způsobem postupovat při potřebě přivolání HZS. V souvislosti s touto problematikou je potřeba vyřešit režimová opatření vstupu a vjezdu mimo pracovní dobu. Jedná se o mechanické zábranné systémy, tedy vstupní bránu, řízenou nově elektronicky nebo dálkově pomocí mobilního telefonu.

Dalším navrženým opatřením pro snížení dopadu při vzniku požáru v objektu v případě zahoření FVE panelu je zpracování dokumentace, layoutu objektu s evakuačními trasami a nouzovými východy, zaznačení shromaždiště, nové školení v oblasti požární ochrany a vytvoření nové dokumentace požárně bezpečnostního řešení objektu.

Tabulka 7 Souhrn navržených opatření. (Vlastní zpracování, 2024)

Opatření	Typ opatření	Odhadovaná investice
Termokamera FLIR	technická	260 000,- Kč
PBŘ	režimová	50 000,- Kč
Školení v případě požáru	organizační	0,- Kč
Elektrorevize	technická	30 000,- Kč
Vstup a vjezd	režimová	0,- Kč
Nouzové otevírání vjezdu	technická	80 000,- Kč
Údržba FVE	technická	0,- Kč
Hasicí prostředky	technická	100 000,- Kč
Poučení zaměstnanců	režimová	0,- Kč
Aktualizace evakuačního plánu	režimová	0,- Kč
Školení PO	organizační	30 000,- Kč

Souhrn navržených opatření je vyjádřen v předpokládaných investicích, srovnávaných na základě aktuálních cen trhu pomocí internetu a cenových nabídek. Jedná se o pouhý příklad určený ke znázornění typu opatření ve vztahu k jeho investiční náročnosti.

## ZÁVĚR

Práce vyhodnocuje rizika spojená s provozem fotovoltaické elektrárny umístěné na střechách skladovacích objektů dřeva ve výrobním areálu SWN Moravia, s.r.o.

Teoretická část se zabývá technickými parametry jednotlivých druhů fotovoltaických článků, včetně jejich chemického složení a funkcí. Dále popisuje možná rizika v kontextu provozu fotovoltaických elektráren z pohledu statické bezpečnosti, požární bezpečnosti, požadavků na instalaci a problematiku při zásahu HZS.

Se zástupci vedení předmětné společnosti byly provedeny řízené rozhovory, pochůzky v rámci celého areálu s umožněním pořízení fotodokumentace a poskytnutím projektových dokumentací a situačních výkresů k objektu. Tyto v rámci bakalářské práce nebudou zveřejněny, nicméně na jejich základě byly provedeny analýzy rizik. Metoda FMEA byla vypracována týmovou spoluprací s kompetentními osobami znalých provozu. Na jejím základě bylo vyhodnoceno nejvyšším rizikem vznik požáru a jeho neřízené šíření v rámci celého objektu. Z důvodu možných synergických účinků bylo toto riziko dále podrobeno analýze stromu událostí, kdy byly hodnoceny dva typy scénáře. V prvním byla zahrnuta schopnost detekovat požár a včasnost zásahu s výpočtem pravděpodobnosti vypuknutí neřízeného požáru. Druhý scénář byl zaměřen na opatření v dílčích krocích, které mohou zmírnit dopad na případné rozšíření po celém objektu. V případě použití vhodné hasicí techniky, okamžitého nebo automatického odpojení z elektrické soustavy a přivolání složek HZS lze negativní dopad na objekt značně snížit.

V posledním kroku byla navržena opatření typu režimová, technická a organizační, ke zmírnění dopadů při požáru. Ke každému opatření byla navržena odhadovaná výše investice dle aktuálních cen na trhu a prostřednictvím cenových kalkulací. Opatření, která lze realizovat okamžitě a bez vyšších počátečních nákladů se týkají především organizačních a režimových, ve smyslu nastavení pravidelného školení zaměstnanců v postupech při vzniku požáru a kontroly fotovoltaické elektrárny, provedení revize elektroinstalace včetně údržby FVE. Součástí údržby je navrženo pořízení termokamery, která je schopna detekovat teplotní změny a tím včasné odhalit potenciální riziko zahřívání elektroinstalace, kabelového vedení a následný požár. V současné době chybí ve výrobním podniku dokumentace požárně bezpečnostního řešení objektu, což bude hlavní náplní diplomové práce. Cíl bakalářské práce byl tedy ve všech bodech splněn.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

BENZAGHTA, Mostafa Ali et al., 2021. *SWOT Analysis Applications: An Integrative Literature Review*. In: Journal of Global Business Insights [online][cit.30.03.2024]. 2021, (6), 21. Dostupné z: doi:<https://www.doi.org/10.5038/2640-6489.6.1.1148>

BIBIN, John a Selvaraj VARADHARAJAPERUMAL, 2022. *Comprehensive Review on CdTe crystals*. TEPES [online]. 2022(2), 180-196 (16) [cit. 2024-03-29]. Dostupné z: doi:10.5152

BOKR, Pavel, 2024. *Geologické a geovědní mapy* [online]. 2024 [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: <http://www.geologicke-mapy.cz/regiony/ku-697117/>

ČESKO, 2021. *Stavební zákon*. In. Sbírka zákonů České republiky, č. 283/2021.

ČESKO, 2023. *Vyhláška o požadavcích na bezpečnou instalaci výroby elektřiny využívající obnovitelné zdroje energie s instalovaným výkonem do 50 kW*. In. Sbírka zákonů České republiky, č. 114/2023.

ČSN 73 0810, 2016. *Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

ČSN 73 0804, 2023. *Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty*. Ed.2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

ČSN 33 2000, 2024. *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-43: Bezpečnost - Ochrana před nadproudy*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

ČSN EN IEC 61215, 2021. *Zemské fotovoltaické (PV) moduly - Posouzení způsobilosti konstrukce a schválení typu - Část 1: Požadavky na zkoušení*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

ČTK, 2024. *V ČR se loni zprovoznilo 82.799 solárních zdrojů, meziročně víc než dvojnásobek*. OENERGETICE [online]. 2024(1), s. 1 [cit. 2024-03-29]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/energetika-v-cr/v-cr-se-loni-zprovoznilo-82-799-solarnich-zdroju-mezirocne-vic-nez-dvojnásobek>

DUDEK, Jiří, 2013. *Termovizní diagnostika fotovoltaické elektrárny*. Ostrava. Fakulta elektrotechniky a informatiky - Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.

DVOŘÁK, Martin, 2019. *Požární rizika fotovoltaických elektráren na obálce budovy*. Praha. Závěrečná práce. České vysoké učení technické v Praze.

EU 2018/2001, 2018. *O podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů (přepracované znění)*. EVROPSKÝ PARLAMENT A RADA.

FLIR E96, 2023. *Advance Thermal Imaging Camera*. In: Teledyne Flir LLC [online]. [cit. 2024-04-17]. Dostupné z: <https://www.flir.com/products/e96/?vertical=condition%20monitoring&segment=solutions>

GRASSEOVA, Monika, Radek DUBEC a David ŘEHÁK, 2012. *Analýza podniku v rukou manažera*. 2. Brno: BizBooks. ISBN 978-80-265-0032-2.

HASELHUHN, Ralf a Petr MAULE, 2017. *Fotovoltaické systémy*. Česká fotovoltaická asociace. ISBN 978-80-906281-5-1.

HERNÁNDEZ-CALLEJO, Luis, Sara GALLARDO-SAAVEDRA a Víctor ALONSO-GÓMEZ, 2019. *A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance*. Solar Energy [online]. Elsevier, 2019(188), 14 [cit. 2023-11-07]. ISSN 0038-092X.

HOŠEK, Zdeněk, 2011. *Požární bezpečnost fotovoltaických systémů*. ELEKTRO [online]. 2011(4), 3 [cit. 2024-03-29]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/43306.pdf>

CHLOUPEK, Jan, 2015. *Územní plán obce Mladoňovice*. OBEC MLADOŇOVICE. Obec Mladoňovice [online]. [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: <http://m.mladonovice.cz/uzemni-plan-mladonovice/d-1301>

LEE, Seungmin; LEE, Euichan; LEE, Junghun; PARK, Seongjun a MOON, Wonsik, 2024. *Strategy for Enhancing Hosting Capacity of Distribution Lines Using a Vertical Photovoltaic System*. [online]. Energies (19961073). 2024, roč. 17, č. 6, s. 1390-1405. ISSN 19961073. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en17061390>

LEGÁT, Václav, 2007. *Analýza stromu událostí ETA*. QM profi [online]. 2007(6), 2 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.qmprofi.cz/33/analyza-stromu-udalosti-eta-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EkV75G4Ef0m1tbLT2xtMJPKhfSzBNiU7lw/>

PECL, Jan, 2020. 112 [online]. *MV-generální ředitelství HZS ČR, XIX(10/2020)* [cit. 2024-03-29]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/casopis-112-rocnik-xix-cislo-10-2020.aspx?q=Y2hudW09Mg%3D%3D>

PETRAŠOVÁ, Ivana, 2008. *Analýza možných způsobů a důsledků poruch (FMEA)*. 4. Praha: Česká společnost pro jakost. ISBN 978-80-02-02101-8.

POULEK, Martin a Vladislav POULEK, 2009. *FOTOVOLTAIKA, Teorie i praxe využití solární energie*. 2009. Praha: ISLA. ISBN 978-80-904311-0-2.



ROTH, Carl, 2015. Bezpečnostní list: n-Butyl-acetát, pro syntéza [online]. Karlsruhe, Deutschland. Dostupné také z: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-4600-CZ-CS.pdf?context>

SWN MORAVIA, S.R.O., 2015. *O společnosti* [online]. 2023 [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.swn-schody.cz/historie/>

TALHA, Farooq a Agili BOKER, 2024. *Photovoltaic Energy System; Current Technology, Profitability & Prospects*. International Journal of Electrical Engineering and Ethics [online]. 2024 (7), 6 [cit. 2024-03-29]. ISSN 2455-9771. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/378870325\\_Photovoltaiac\\_Energy\\_System\\_Current\\_Technology\\_Profitability\\_Prospects#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/378870325_Photovoltaiac_Energy_System_Current_Technology_Profitability_Prospects#fullTextFileContent)

TNI 33 2000, 2020. *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti - Ochrana před úrazem elektrickým proudem*. Česká agentura pro standardizaci.

VRBKOVÁ, Kateřina a PROCHÁZKOVÁ, Dana, 2019. Příčiny požáru fotovoltaických elektráren v České republice. In: *Řízení rizik procesů spojených s technickými díly*. Praha: ČVUT v Praze. ISBN 978-80-01-06656-0

WILDEMANN, Kathrin, 2011. *Nanotechnology for Energy*. *Advanced Science News* [online]. 2011, 1 [cit. 2024-03-29]. ISSN 2940-2034. Dostupné z: <https://www.advancedsciencenews.com/nanotechnology-for-energy-structure-your-solar-cells/>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

CIS	Krystalický solární modul
ČSN	Česká technická norma
EE	Elektrická energie
ETA	Event Tree Analysis
EU	Evropská Unie
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
FMECA	Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis
FV	Fotovoltaické články
FVE	Fotovoltaická elektrárna
HZS	Hasičský záchranný sbor
ISO	International Organization for Standardization
IZS	Integrovaný záchranný systém
PO	Požární ochrana
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
TNI	Technický normalizační dokument informativního charakteru

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Monokrystalický článek. ....	15
Obrázek 2 Polykrystalický článek.....	16
Obrázek 3 Tenkovrstvý solární panel. ....	17
Obrázek 4 Nanostrukturovaný fotovoltaický .....	19
Obrázek 5 Složení fotovoltaického panelu, přeměna v krystalickém článku. ....	20
Obrázek 6 Mapový podklad objektu SWN Moravia, s.r.o. s fotodokumentací jednotlivých budov. (Vlastní zpracování, 2024) .....	29
Obrázek 7 Řízení iniciace požáru. (Vlastní zpracování, 2024).....	39
Obrázek 8 Scénář rozvoje požáru v určitém čase za použití analýzy ETA. (Vlastní zpracování, 2024) .....	40
Obrázek 9 Analýza rizik vzniku požáru na FVE pomocí metody ETA. (Vlastní zpracování, 2024) .....	41
Obrázek 10 Termokamera Flir. (FLIR E96, 2023) .....	43

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Posouzení vnitřního prostředí ve vztahu k silným a slabým stránkám. ....	32
Tabulka 2 Posouzení vnějšího prostředí ve vztahu k hrozbám a příležitostem. (Vlastní zpracování, 2024).....	33
Tabulka 3 Hodnocení kritéria významnosti aspektů. ....	34
Tabulka 4 Hodnotící stupnice analýzy FMEA. (Vlastní zpracování, 2024).....	35
Tabulka 5 Stanovení míry rizika. ....	36
Tabulka 6 Vyhodnocení možných rizik pomocí analýzy FMEA. (Vlastní zpracování, 2024) .....	37
Tabulka 7 Souhrn navržených opatření. (Vlastní zpracování, 2024).....	44

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Vyhodnocení SWOT analýzy pro FVE. (Vlastní zpracování, 2024) .....	34
---	----

