

Návrh fotovoltaické elektrárny pro vybraný objekt

Jakub Růžička

Bakalářská práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky
Ústav bezpečnostního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jakub Růžička**
Osobní číslo: **A21306**
Studijní program: **B1032A020001 Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Návrh fotovoltaické elektrárny pro vybraný objekt**
Téma práce anglicky: **Design of a Photovoltaic Power Plant for a Selected Building**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Porovnejte různé typy fotovoltaických panelů.
3. Provedte vlastní návrh fotovoltaické elektrárny.
4. Vyberte vhodné komponenty pro realizaci fotovoltaické elektrárny.
5. Udělejte finanční rozvahu pro realizaci fotovoltaické elektrárny.

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

Seznam doporučené literatury:

1. HALLIDAY, David, Robert RESNICK a JEARL WALKER. Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky. Brno: Vutium, 2000, xxiv, 1198, [28] s. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 8021418699.
2. LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. 2., dopl. vyd. Praha: Ilsa, 2010, 165 s. ISBN 9788090431157.
3. HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6
4. MURTINGER, Karel; BERANOVSKÝ, Jiří a TOMES, Milan. *Fotovoltaika, elektrina ze slunce*. 21. století. Brno: ERA, 2007. ISBN 978-80-7366-100-7.
5. QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Stavitel. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-3250-3.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Martínek, Ph.D.**
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce: **8. prosince 2023**

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



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

Ing. Jan Valouch, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 8. prosince 2023

Prohlašuji, že

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

Prohlašuji,

- že jsem na 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 totožné.

Ve Zlíně, dne

.....

podpis studenta

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům. V teoretické části se práce zabývá sluneční energií a jejím využitím ve fotovoltaice. Nejprve jsou definovány základní parametry slunečního záření. Dále je vysvětlena přeměna sluneční energie na elektrickou energii. V dalších kapitolách jsou objasněny fotovoltaické články a panely. Je vysvětlena jejich struktura, parametry, druhy. Dále se práce věnuje dalším prvkům nutným pro realizaci fotovoltaických elektráren. Jedná se o nadproudové a přepěťové ochrany, střídače a nosné konstrukce fotovoltaických panelů. V praktické části je popsán návrh fotovoltaických elektráren. Nejprve je znázorněn objekt, zjištěna jeho roční spotřeba energie a na základě toho je vybrán typ elektrárny. Na závěr práce je provedena finanční analýza, která vypočítává ekonomickou návratnost elektráren.

Klíčová slova: fotovoltaická elektrárna, sluneční energie, fotovoltaické panely, dotace

ABSTRACT

The bachelor's thesis focuses on the design of a photovoltaic power plant for a family house. The theoretical part discusses solar energy and its utilization in photovoltaics. It begins by defining the basic parameters of solar radiation, followed by an explanation of the conversion of solar energy into electrical energy. Subsequent chapters clarify the structure, parameters, and types of photovoltaic cells and panels. The thesis also covers additional components necessary for the implementation of photovoltaic power plants, including overcurrent and surge protections, inverters, and the supporting structures of photovoltaic panels. In the practical part, the design of photovoltaic power plants is described. It starts with a depiction of the building, determines its annual energy consumption, and based on this, selects the type of power plant. The thesis concludes with a financial analysis that calculates the economic return on investment of the power plants.

Keywords: photovoltaic power plant, solar energy, photovoltaic panels, subsidies

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Tomáši Martínkovi, Ph.D. za jeho čas a velmi vstřícnou zpětnou vazbu. Díky jeho cenným poznatkům a připomínkám se tato práce obohatila o mnoho užitečných informací.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 ENERGIE	11
1.1 NEOBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE	11
1.2 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE	12
1.2.1 Sluneční energie	12
1.2.2 Sluneční záření	12
1.2.3 Sluneční podmínky v ČR	14
1.2.4 Solární elektrárny	14
1.2.4.1 Ostrovní systém	15
1.2.4.2 Síťový systém	15
1.2.4.3 Hybridní systémy	16
2 FOTOVOLTAIKA	17
2.1 HISTORIE FV	17
2.1.1 Historie FV v ČR.....	17
2.2 PODSTATA PŘEMĚNY ENERGIE.....	18
3 FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY A PANELY	19
3.1 STRUKTURA FV PANELU	19
3.2 TYPY FV ČLÁNKŮ	20
3.2.1 Monokrystalické články	20
3.2.2 Polykrystalické články	21
3.2.3 Amorfni články (tenkovrstvé)	21
4 KOMPONENTY FV SYSTÉMŮ	23
4.1 AKUMULÁTORY.....	23
4.1.1 Olověné	23
4.1.2 Alkalické	24
4.1.3 Lithium-iontové.....	24
4.2 STŘÍDAČE.....	24
4.3 ZÁLOŽNÍ ZDROJ	25
4.4 MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ.....	25
4.5 OCHRANA ROZVODŮ	25
4.5.1 Nadproudová ochrana	26
4.5.2 Přepět'ová ochrana.....	26
4.6 NOSNÉ KONSTRUKCE FV PANELŮ.....	27
4.6.1 Materiál nosných konstrukcí	28
4.6.2 Druhy nosných konstrukcí	28
4.6.2.1 Pevné konstrukce	28
4.6.2.2 Konstrukce s jednoosým natáčením	28
4.6.2.3 Konstrukce s dvouosým natáčením	29
4.7 MOŽNOSTI MONTÁŽE.....	29
4.7.1 Montáž na střechu	30
4.7.1.1 Šikmé střechy.....	30
4.7.1.2 Rovné střechy	31

4.7.2	Montáž na stěnu	31
4.7.3	Montáž na pozemek	32
5	LEGISLATIVA A DOTACE	33
5.1	PŘIPOJENÍ DO DISTRIBUČNÍ SÍTĚ	33
5.2	DOTACE – NOVÁ ZELENÁ ÚSPORÁM (STANDARD).....	34
5.2.1	Podoblast podpory C. 3	34
II	PRAKTICKÁ ČÁST	35
6	INFORMACE O OBJEKTU.....	36
6.1	POPIS STŘECHY.....	37
6.2	SPOTŘEBA OBJEKTU	37
7	NÁVRH FVE	38
7.1	SROVNÁNÍ FV PANELŮ	38
7.2	VÝBĚR KOMPONENTŮ.....	38
7.3	NÁVRH.....	40
7.3.1	Varianta na východ.....	40
7.3.2	Varianta západ.....	42
7.3.3	Varianta východ + západ.....	43
7.4	POŘIZOVACÍ CENA	45
7.5	NÁVRATNOST.....	46
7.5.1	Návratnost varianty východ	47
7.5.2	Návratnost varianty západ.....	50
7.5.3	Návratnost varianty východ + západ.....	53
7.6	POROVNÁNÍ VARIANT.....	55
7.7	BEZPEČNOST	56
7.8	ÚDRŽBA	57
	ZÁVĚR	58
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	59
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	61
	SEZNAM OBRÁZKŮ	62
	SEZNAM TABULEK.....	63

ÚVOD

Pro většinu lidí je elektrická energie v každodenním životě nepostradatelná, od napájení domácností a firem až po pohánění dopravy a průmyslu. Její všestranné využití v oblastech jako zdravotnictví, vzdělávání a zábava zdůrazňuje její klíčovou roli v moderní společnosti. Tradiční zdroje energie, jako jsou uhlí a ropa, produkují emise skleníkových plynů, které přispívají ke změně klimatu, znečišťují ovzduší a ohrožují ozonovou vrstvu. Proto je důležité hledat udržitelné alternativy, mezi které patří obnovitelné zdroje energie, jako je solární, větrná a vodní energie, nabízí čistší a šetrnější způsob výroby elektřiny bez emisí skleníkových plynů. Vzhledem k rostoucím tlakům na životní prostředí a zpomalení změny klimatu se stávají stěžejním prvkem energetické budoucnosti. Extrémní povětrnostní jevy, jako jsou hurikány, záplavy nebo období sucha, se stávají běžnějšími a ohrožují životy lidí po celém světě. Přechod na obnovitelné zdroje energie je nezbytný krok k zmírnění těchto dopadů a k zajištění udržitelné budoucnosti pro nás i pro budoucí generace.

Fotovoltaické elektrárny (FVE) nabízí slibné řešení pro snižování emisí a produkci čisté energie. Jejich provoz je bez emisí skleníkových plynů a hluku, čímž šetří životní prostředí a snižuje znečištění ovzduší. Navíc vyžadují minimální údržbu. Umístování FVE na zemědělskou půdu vyvolává kontroverze. Někteří argumentují, že zabírají ornou půdu a snižují produkci potravin. Jiní vnímají FVE na polích a loukách jako ohrožení biodiverzity a estetiky krajiny. Alternativou k FVE na polích je instalace panelů na střechy budov. To představuje efektivní využití stávajícího prostoru, který by jinak zůstal nevyužitý. Instalace FVE na střechách domů a průmyslových objektů tak umožňuje snižovat závislost na fosilních palivech a zároveň minimalizovat zábor půdy.

Tato práce pojednává o variantě instalace na střechách rodinných domů. V teoretické části se věnuje energii ze slunce, její přeměně na elektrickou energii. Dále popíše, jaké jsou typy elektráren, druhy panelů a komponenty potřebné k funkčnosti celého systému. Na závěr obecně seznámí s legislativou a dotacemi.

Praktická část se věnuje návrhu FVE na konkrétní objekt. V rámci návrhu FVE pro rodinný dům bude provedena detailní analýza lokality a vlastností domu, na kterém bude elektrárna instalována. Na základě těchto informací bude navržena optimální konfigurace a umístění FV panelů. Návrh bude obsahovat typy a počet panelů, střídače, baterie a další komponenty a odhad ročního výnosu. Na závěr bude zhodnocena teoretická návratnost investice a zisk za dobu provozu elektrárny.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ENERGIE

Energie je dnes brána jako samozřejmost. Každý den potřebujeme energii k vaření, pohonu automobilů, napájení spotřebičů, nabíjení spotřebičů atd. Energie z neobnovitelných zdrojů dnes patří mezi nepoužívanější. Alternativou k neobnovitelným zdrojům jsou obnovitelné zdroje energie. Spotřeba energie neustále roste, a proto se její výrobou zabývá hospodářství snad všech států. Solární panely na pouhé desetiny Sahary by dokázaly pokrýt energetické potřeby celé planety. [1]

Tabulka 1. Přehled podílů zdrojů energie v ČR [2]

Zdroje energie	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Obnovitelné zdroje - celkem	10,11 %	7,60 %	6,17 %	3,90 %	6,75 %	5,56 %	5,46 %
Sluneční	2,77 %	2,14 %	2,07 %	1,66 %	2,27 %	1,65 %	1,47 %
Větrné	0,63 %	0,45 %	0,22 %	0,00 %	0,43 %	0,00 %	0,01 %
Vodní	1,15 %	1,43 %	0,77 %	0,44 %	0,65 %	0,61 %	0,63 %
Geotermální	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Biomasa	5,57 %	3,58 %	3,11 %	1,81 %	3,40 %	3,31 %	3,34 %
Ostatní	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,01 %
Fosilní zdroje - celkem	59,53 %	57,40 %	56,95 %	57,01 %	52,50 %	54,03 %	53,60 %
Hnědé a černé uhlí	50,88 %	49,15 %	48,81 %	49,02 %	42,66 %	43,89 %	47,50 %
Zemní plyn	8,40 %	5,45 %	5,80 %	7,74 %	9,61 %	9,89 %	5,86 %
Ropa a ropné produkty	0,05 %	0,06 %	0,04 %	0,15 %	0,11 %	0,12 %	0,11 %
Druhotné zdroje	0,20 %	2,73 %	2,30 %	0,10 %	0,12 %	0,12 %	0,13 %
Jaderné zdroje - celkem	30,36 %	35,01 %	36,88 %	39,09 %	40,75 %	40,41 %	40,95 %

1.1 Neobnovitelné zdroje energie

Dnes nepoužívanější zdroj energie jsou ty, které se získávají z ropy, uhlí nebo zemního plynu. Tyto zdroje zatěžují životní prostředí a jednoho dne budou vyčerpány. Proto je důležité se více zaměřit na přechod k obnovitelným zdrojům energie. [1]

1.2 Obnovitelné zdroje energie

V dnešní době se stále více využívají obnovitelné zdroje, protože nezatěžují krajinu a globální klima jako neobnovitelné zdroje. Do této kategorie energií patří sluneční, větrná, vodní, geotermální a jiné. Investice do slunečních či větrných elektráren může být z počátku vysoká, ale díky dotačnímu programu a výhledu, že po čase bude takto vyrobená elektřina levnější, se tato investice vyplatí. Lidé se v současnosti obracejí k energii z obnovitelných zdrojů, protože chtějí být nezávislí na dodávkách energie od velkých energetických společností. [1]

1.2.1 Sluneční energie

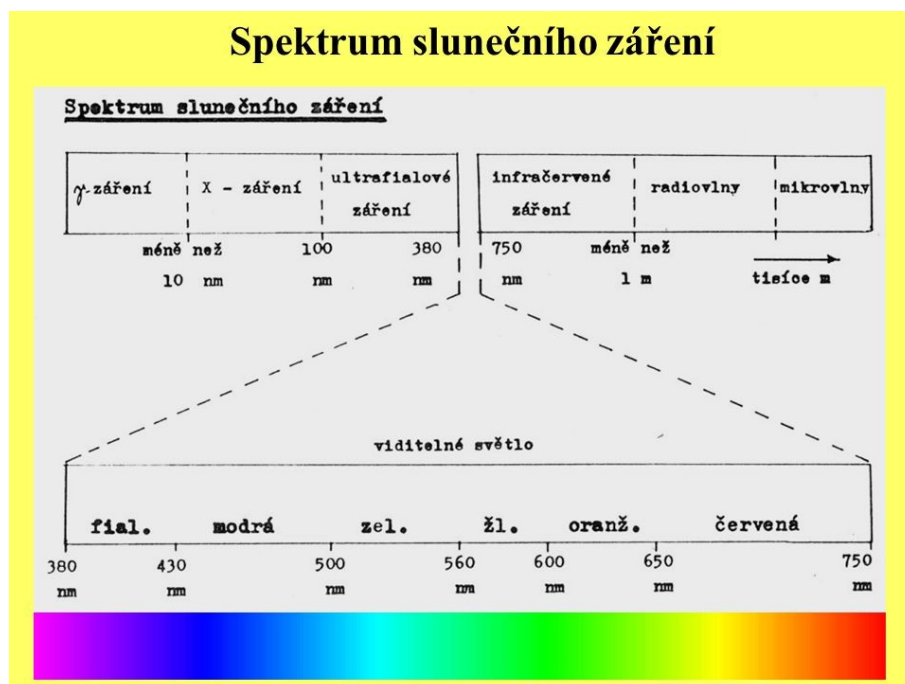
Slunce je zdrojem energie, který je z hlediska délky lidského života udržitelný. Slunce však není věčný zdroj energie, předpokládá se, že v současném stádiu vývoje přetrvá ještě asi 5 miliard let. Existují dva základní způsoby, jak sluneční energii získat: přímou a nepřímou přeměnou. Přímá přeměna sluneční energie znamená, že sluneční záření přímo přeměňujeme na jiný druh energie. Nejčastějším příkladem je fotoelektrická přeměna, při které sluneční záření dopadající na fotovoltaické panely přeměňujeme na elektrickou energii. Nepřímá přeměna sluneční energie znamená, že sluneční záření nejprve přeměníme na teplo a teprve toto teplo využíváme k výrobě elektřiny nebo k jiným účelům. Příkladem nepřímé přeměny je fototermická přeměna, při které sluneční záření dopadající na solární kolektory přeměňujeme na teplo. Teplo z kolektorů se pak může používat k ohřevu vody, vytápění budov nebo výrobu elektřiny v tepelných solárních elektrárnách. [3]

1.2.2 Sluneční záření

Sluneční záření je elektromagnetické vlnění, které se skládá z fotonů. Foton je nositel elektromagnetické energie. Albert Einstein za pomoci své teorie relativity a kvantové teorie vysvětlil fotoelektrický jev a dostal za toto vysvětlení v roce 1921 Nobelovu cenu. Přibližně $1,4 \text{ kW/m}^2$ (v závislosti vzdálenosti země-slunce) sluneční energie dopadá na zemskou atmosféru. Veškerá energie se nedostane až na povrch planety. Atmosféra absorbuje a odráží část záření, čímž snižuje jeho intenzitu. V důsledku toho na zemský povrch dorazí v jasný den méně než 1 kW energie na metr čtvereční. Při instalaci solárních panelů na zemi je třeba vzít v úvahu řadu faktorů. Příjem sluneční energie je ovlivněn počasím, znečištěním atmosféry, polohou slunce na obloze a stíněním. První překážkou, kterou musí

sluneční záření překonat, je atmosféra. Část záření je odražena, pohlcena nebo rozptýlena a pouze část dopadne na zem. [4]

Na obrázku 1 je zobrazena vlnová délka elektromagnetického spektra. Jen malá část záření je viditelné světlo, a to pro vlnové délky v rozmezí 380 nm až 780 nm. Záření pod hranicí vlnové délky 380 nm je ultrafialové a nad hranicí 780 nm je záření infračervené. Při výrobě energie za pomoci FV panelů je využíváno především viditelné světlo a také infračervené záření, ale pouze hraniční část s viditelným světlem. [4]



Obrázek 1. Spektrum slunečního záření [5]

Einsteinova rovnice pro fotoelektrický jev:

$$h_f = W_0 + E_k$$

kde: h_f = energie fotonu

W_0 = výstupní práce (materiálu nebo ionizační energie)

E_k = kinetická energie uvolněného fotonu

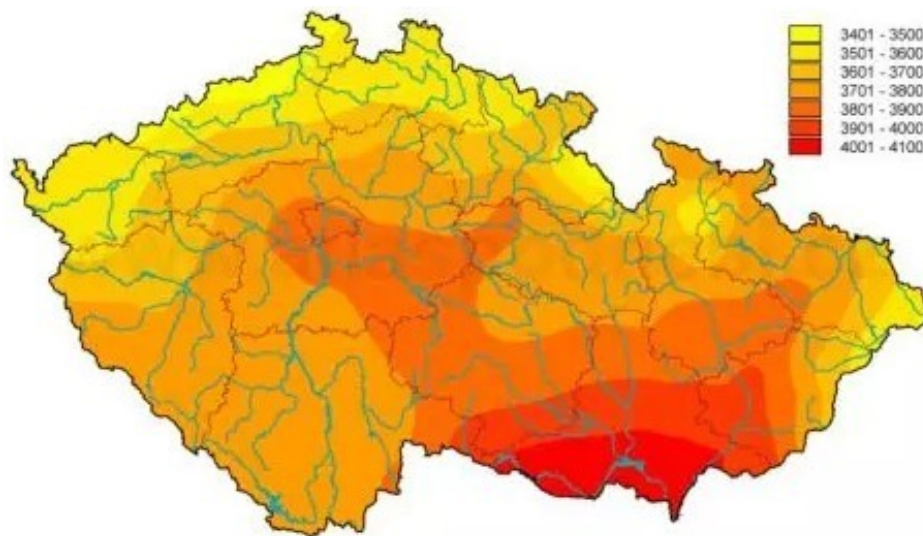
Sluneční záření se dělí na několik druhů.

- **Globální** záření, které dopadá na zemský povrch, je součtem přímého a rozptýleného slunečního záření. Intenzita slunečního záření se zvětšuje s výškou slunce nad obzorem a s ubývajícím znečištěním atmosféry.

- **Difuzní (nepřímé)** záření je záření, které je rozptýleno atmosférou a padá na zemský povrch ze všech směrů. Závisí tedy na podmínkách v atmosféře, jako je množství mraků, prachu nebo smogu. V případě, že jsou podmínky v atmosféře nepříznivé, dochází k úbytku energie ze slunce, která se dostane na zemský povrch.
- **Přímé (normální)** sluneční záření je typ slunečního záření, které padá kolmo na zemský povrch. Nezohledňuje žádné vlivy atmosféry, jako jsou mraky, prach nebo smog. Jedná se tedy o sluneční záření, které by dopadalo na zemi, kdyby nebyla atmosféra. [4]

1.2.3 Sluneční podmínky v ČR

Intenzita slunečního záření v České republice se liší v závislosti na zeměpisné poloze. Jak je vidět na mapě, nejvíce sluneční energie dopadá na jižní Moravu, kde roční úhrn slunečního záření dosahuje až 4100 MJ/m^2 . Odtud se intenzita záření postupně snižuje směrem k severu, až na hodnotu 3400 MJ/m^2 v severozápadní části republiky. [3]



Obrázek 2. Sluneční záření dopadající na území ČR [6]

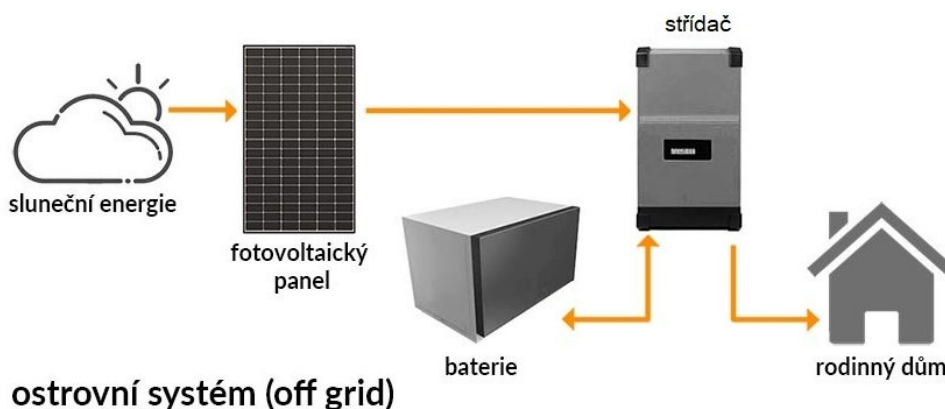
1.2.4 Solární elektrárny

Využití solární energie bylo možné již v minulosti k zahřátí vody či oleje. Pomocí zrcadel se nasměruje sluneční záření na zásobník kapaliny. Dnes se pro přeměnu solární energie na elektrickou používají nejčastěji fotovoltaické panely. Výkon solárních elektráren je závislý na velikosti systému, a to od malých, řádově v kW_p (index p označuje maximální výkon - peak), až po velké, kde výkon dosahuje desítek MW_p . Tyto systémy lze rozdělit na ostrovní, síťové a hybridní. [1]

1.2.4.1 Ostrovní systém

Ostrovní solární systém je nezávislý na rozvodné síti. Je využíván v odlehlých oblastech, kde se budování rozvodných sítí nevyplatí, a také v průmyslově vyspělých zemích ke snížení provozních nákladů. Ostrovní systém je dimenzován na spotřebu elektrické energie. U ustálených provozů se kalkuluje se spotřebou v posledních 3 letech. Výnos energie ze solárních panelů však nesouhlasí s její časovou spotřebou. Proto se obvykle používá akumulátorová baterie. Další možností je posílat vyrobenou elektrickou energii do rozvodné sítě. Hybridní systém je kombinací ostrovního a síťového systému. Tyto systémy mohou být dále podporovány dalším zdrojem energie, jako například generátorem. [4]

Akumulační zásobník je v ostrovních systémech důležitý. Vyrovnává rozdíl mezi výrobou a spotřebou energie. Fotovoltaické panely vyrábějí energii pouze za slunečního světla, proto spotřeba energie nemůže být rozložena rovnoměrně po celý den. Akumulační zásobník tak umožňuje ukládat přebytečnou energii vyrobenou ve dne pro použití v noci nebo v době, kdy je spotřeba energie vyšší než výroba. Mezi komponenty, ze kterých se skládá ostrovní systém, patří FV panel, střídač, baterie a spotřebič. [1]

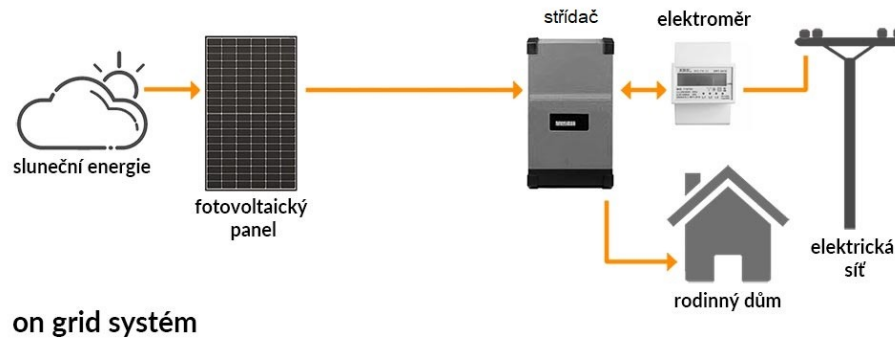


Obrázek 3. Ostrovní systém [7]

1.2.4.2 Síťový systém

Připojení fotovoltaického systému k rozvodné síti umožňuje využít veškerou vyrobenou elektrinu. Elektrická síť je dostatečně velká, aby zvládla výrobu z fotovoltaických systémů. Střídač převádí stejnosměrný proud z fotovoltaických článků na střídavý proud, který je vhodný pro distribuci v síti. Před připojením k distribuční síti je fotovoltaický systém připojen k jističi a přepěťové ochraně v rozvaděči. To chrání systém před přetížením a přepětím. Okruh se připojuje až za hlavní elektroměr, aby distribuční společnost mohla měřit

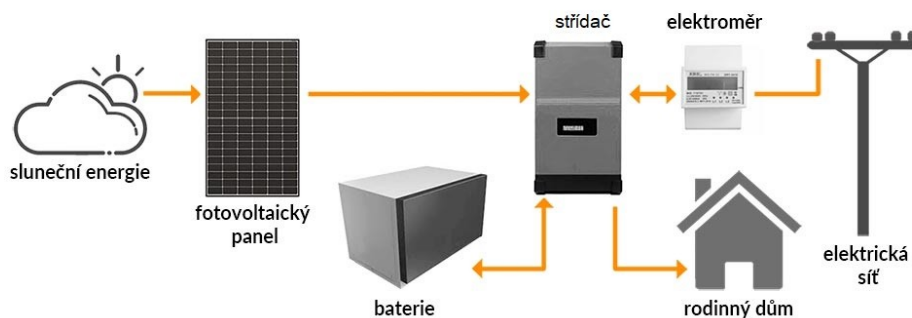
vyrobenou elektřinu. Tato elektřina je distribuční společností proplácena. Před připojením fotovoltaického systému k distribuční síti je nutné získat povolení od distribuční společnosti. [3]



Obrázek 4. Síťový systém [7]

1.2.4.3 Hybridní systémy

Hybridní FVE je pokročilejší systém, který v sobě kombinuje funkci ostrovního a síťového systému. Energie vyrobená přes den je používána pro spotřebiče v domácnosti a přebytek je ukládá do baterie, ze které se čerpá v noci. Pokud jsou baterie vybité, tak je automaticky odebírána elektřina ze sítě. Některé hybridní systémy mohou přebytečnou energii dodávat do veřejné sítě. [8]



Obrázek 5. Hybridní systém [7]

Hybridní fotovoltaický systém dokáže šetřit náklady na energii tím, že spotřebovává elektřinu vyrobenou solárními panely. V případě výpadku elektrické sítě dokáže systém fungovat i jako záložní zdroj energie. Díky této záložní funkci je hybridní systém vhodný pro místa, kde je důležité mít zajištěný zdroj energie pro případ výpadku sítě. Baterii lze nastavit tak, aby část své kapacity udržovala jako záložní zdroj a zbývající kapacitu pak mohou využívat spotřebiče. [3]

2 FOTOVOLTAIKA

Fotoelektrický jev je proces přeměny energie elektromagnetického záření na energii elektrickou. K tomuto procesu dochází v polovodičových fotovoltaických článcích, které jsou obvykle vyrobeny z krystalického křemíku. Díky rozvoji technologie a poklesu cen fotovoltaických panelů se fotovoltaika stává stále dostupnější a cenově výhodnější. [1]

2.1 Historie FV

Fotovoltaika má dlouhou historii, která sahá až do roku 1839. V té době francouzští vědci Edmond a Henri Becquerelové objevili, že při ozáření dvou platinových elektrod jimi protéká proud. Tento objev však neměl v té době žádný praktický význam. V roce 1904 Albert Einstein vysvětlil fotoelektrický jev, ale ani to neznamenal okamžitý rozvoj fotovoltaiky. Teprve v 50. letech 20. století, kdy bylo dosaženo výroby křemíku vysoké čistoty, se začaly objevovat první praktické aplikace fotovoltaických článků. První solární článek byl vyroben v roce 1954 v USA a měl účinnost pouze 6 %. Brzy se však účinnost zvýšila na 10 %, ale teprve masová výroba vedla k výraznému snížení nákladů. Díky těmto faktorům se fotovoltaika začala rychle rozvíjet. Aplikace fotovoltaických článků začínala na malých zařízeních, jako jsou hodinky nebo kalkulačky. Postupem času se začaly využívat i na větších zařízeních. [3]

2.1.1 Historie FV v ČR

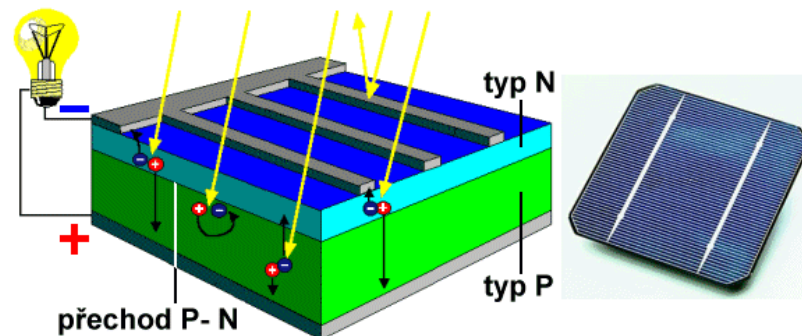
V České republice se fotovoltaika začala rychle rozvíjet v letech 2008 až 2010. Důvodem byl státní program podpory fotovoltaiky, který poskytoval dotace na výstavbu fotovoltaických elektráren. Do roku 2010 bylo v České republice nainstalováno zhruba 460 MW_p výkonu fotovoltaických elektráren. Z toho 410 MW_p bylo nainstalováno v roce 2009, což představuje více než 80 % celkového instalovaného výkonu v tomto roce. Tento prudký nárůst výstavby fotovoltaiky byl způsoben tím, že dotace byly poskytovány za velmi výhodných podmínek. V roce 2009 činila výše dotace až 50 % ceny fotovoltaické elektrárny. Program podpory fotovoltaiky byl však v roce 2011 zrušen, což vedlo k poklesu výstavby fotovoltaiky v následujících letech. [1]

V prvním pololetí roku 2023 byl v České republice zaznamenán výrazný nárůst výstavby fotovoltaických elektráren. Do sítě bylo připojeno více než 45 000 nových FVE o celkovém výkonu 487 MW_p. To je téměř o čtvrtinu více než za celý rok 2022. Tento nárůst je způsoben především několika faktory, jako jsou klesající ceny fotovoltaických panelů, ros-

toucí podpora fotovoltaiky ze strany státu a měst a zvýšené povědomí o výhodách fotovoltaiky. Fotovoltaika se tak v České republice stává stále populárnějším zdrojem energie. V roce 2023 pokryla fotovoltaika zhruba 4 % celkové spotřeby elektřiny v České republice. [9]

2.2 Podstata přeměny energie

Základním blokem každého fotovoltaického článku je PN přechod. Ten vzniká na pomezí dvou různě dopovaných vrstev křemíku. Existují dva typy fotovoltaických článků, a to P-typ a N-typ. Základ P-typových článků tvoří destička křemíku (wafer) a prvky s 3 valenčními elektrony (bor, hliník, galium, indium). Na ni se pak difuzí nanese vrstva opačné vodivosti (emitor), N-typová vrstva tvořena prvky s 5 valenčními elektrony (fosfor, arsen, indium). Tato struktura umožňuje vznik elektrického pole v PN přechodu. Při dopadu slunečního záření se v tomto poli uvolňují elektrony a dírky, které generují elektrický proud. Typ dopování a tloušťka jednotlivých vrstev ovlivňují vlastnosti fotovoltaického článku, jako jsou jeho účinnost a napěťové vlastnosti. [3]



Obrázek 6. Přechod P-N [10]

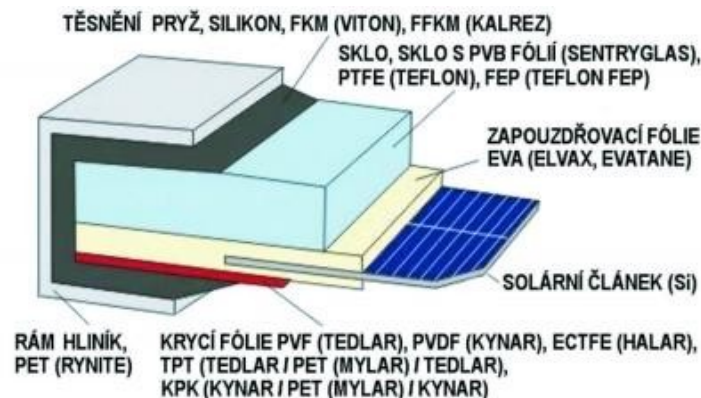
Na rozhraní P a N vrstev křemíku dochází k difuzi majoritních nosičů. Elektrony z N vrstvy se přesouvají do P vrstvy a dírky z P vrstvy do N vrstvy. Tento proces probíhá vlivem koncentračního spádu, dokud se nevytvoří tzv. zakázaný pás. Tento pás je oblast uvnitř PN přechodu, kde se nemohou volně pohybovat nosiče náboje. Šířka zakázaného pásu závisí na koncentraci příměsí, zejména na koncentraci donoru v N vrstvě. Vnitřní elektrické pole, které vzniká v PN přechodu, brání další difuzi nosičů do zakázaného pásu. Toto pole je důležité pro fungování fotovoltaického článku, protože umožňuje generování elektrického proudu při dopadu slunečního záření. [3]

3 FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY A PANELE

Křemíkové fotovoltaické články jsou nejpoužívanější, protože křemík je druhým nejrozšířenějším prvkem na zemi. Tím pádem je levný, snadno dostupný a navíc je netoxický, což je důležité pro životní prostředí. Křemík je ve své čisté formě velmi vzácný. V přírodě se vyskytuje hlavně ve formě křemene, což je pevný a chemicky odolný materiál. Křemen je známý také jako křemenný písek, který se používá v mnoha průmyslových odvětvích. Fotovoltaické články se spojují dohromady, aby se zvýšilo jejich napětí a výkon. To umožňuje fotovoltaickým panelům dodávat dostatečné množství energie. Životnost kvalitních panelů bývá 20–30 let, ale běžná záruka na provedení panelu je 10 let. Do této kratší záruky patří rám modulu, elektronické součásti a kabeláž. Jedná se o panely na bázi krystalických polovodičů. Jednostranné články mohou mít nižší účinnost, protože dochází ke ztrátám. Oboustranné články mají na zadní straně stejný povrch jako na straně přední. Odrazem od zadní elektrody tak dochází k přeměně záření na fotovoltaickou energii a účinnost je vyšší. [1]

3.1 Struktura FV panelu

Fotovoltaické články jsou základními stavebními kameny fotovoltaických panelů. Samotné články by však byly v praxi těžko použitelné, protože mají malý výstupní výkon a jsou málo odolné vůči klimatickým vlivům. Proto jsou články v panelech pospojovány dohromady, což zvyšuje jejich výkon. Panely také poskytují článkům potřebnou ochranu před povětrnostními vlivy. [1]



Obrázek 7. Struktura FV panelu [11]

Fotovoltaický panel se skládá z několika vrstev materiálu. Vrchní vrstvu tvoří sklo, které propouští sluneční záření. Pod sklem je vrstva EVA, která chrání články před mechanickým poškozením. V další vrstvě jsou umístěny samotné články, které jsou propojeny do-

hromady. Na spodní straně panelu je vrstva, která poskytuje ochranu článkům ze spodní strany. Na této vrstvě jsou také vyvedeny výstupní kontakty panelu. [1]

3.2 Typy FV článků

V současnosti se nejčastěji používají tři typy fotovoltaických článků: monokrystalické, polykrystalické a amorfni. Zásadní rozdíl mezi jednotlivými typy článků je v množství materiálu, který je potřeba k jejich výrobě. Monokrystalické a polykrystalické články jsou vyrobeny z většího množství materiálu, zatímco amorfni články jsou vyrobeny z menšího množství materiálu. Z tohoto důvodu se začínají více využívat články vyrobené tenkovrstvou technologií, jako jsou amorfni články. Jsou sice méně účinné než monokrystalické a polykrystalické články, ale mají nižší výrobní náklady. [3]

3.2.1 Monokrystalické články

Většina monokrystalických článků je čtvercového tvaru. Čtvercové články se obvykle vyrábějí v rozměrech 10x10 nebo 12,5x12,5 centimetrů. Novější články mohou být poločtvercové s délkou hrany 15,2 cm a třemi vodivými páskami. Monokrystalické články se někdy vyrábějí zaoblenými rohy. Články se zaoblenými rohy mají menší účinnost než čtvercové články, ale jsou levnější na výrobu. Alternativou ke čtvercovým a poločtvercovým článkům jsou šestihranné články. Šestihranné články mají vyšší účinnost a nižší spotřebu materiálu než čtvercové články. Monokrystalické články jsou vyrobeny z jednoho krystalu křemíku. To jim dává jednotnou tmavě modrou až černou barvu. Z elektrického hlediska jsou monokrystalické články velmi účinné. Jejich účinnost může dosáhnout až 21 %, ale v průměru je to 15 % až 17 %. Monokrystalické články mají řadu výhod. Jsou velmi odolné vůči povětrnostním podmínkám a degradují pomaleji než ostatní typy článků. Proto se velmi hodí pro použití ve fotovoltaických elektrárnách. [3]

Monokrystalický křemík se vyrábí metodou Czochralského. Ta spočívá v pomalém vytahování krystalu z taveniny křemíku. Krystalizační proces je energeticky náročný a probíhá při teplotě 1420 °C. Vzniklý monokrystal se poté ořeže na čtvercové destičky o tloušťce 0,3 mm. Při tomto procesu dochází k velkým ztrátám. Na destičky se poté napaří tenká vrstva fosforu, která je dopována prvky z 3. a 5. skupiny periodické tabulky, jako jsou fosfor, arsen, bor a galium. Na zadní straně destičky se poté umístí kontaktní vrstva, kontaktní palec a antireflexní vrstva. Antireflexní vrstva odráží sluneční záření. [8]

Tabulka 2. Monokrystalické články – plusy a mínusy [12]

Výhody	Nevýhody
efektivita	vyšší počáteční náklady
větší odolnost proti teplu	křehkost
vysoký výkon	citlivost na stínění
elegantní vzhled	
dlouhověkost	

3.2.2 Polykrystalické články

Polykrystalické články, známé také jako multikrystalické, mají světle modrou nehomogenní (třpytivou) strukturu. Vyrábějí se ve čtvercovém tvaru o straně 4, 5, 6 nebo 8 palců. Jejich účinnost je obvykle mezi 13 a 17 procenty. [8]

Výroba polykrystalického křemíku je jednodušší a levnější než výroba monokrystalického křemíku. Křemík se roztaví v grafitovém kelímku a potom se řízeně ochlazuje. Při tomto procesu vznikají polykrystalické bloky křemíku, které se pak rozřežou na tyče a destičky. Polykrystalické destičky mají třpytivou strukturu, která je způsobena různou orientací krystalů. Dříve byly polykrystalické panely levnější než monokrystalické, ale dnes je cenový rozdíl téměř zanedbatelný. Polykrystalické články mají o něco nižší účinnost než monokrystalické články. Na druhou stranu jsou lépe přizpůsobeny použití v místech, kde je určitá odchylka od ideální orientace panelů ke slunečnímu záření nebo kde je difuzní nebo-li rozptýlené světlo, které vzniká při zatažené obloze. [3]

Tabulka 3. Polykrystalické články – plusy a mínusy [12]

Výhody	Nevýhody
nižší počáteční náklady	nižší účinnost
méně odpadu vzniklého při výrobě	vyžadují více místa
rychlejší návratnost investice	kratší životnost
elegantní vzhled	citlivost na vysoké teploty

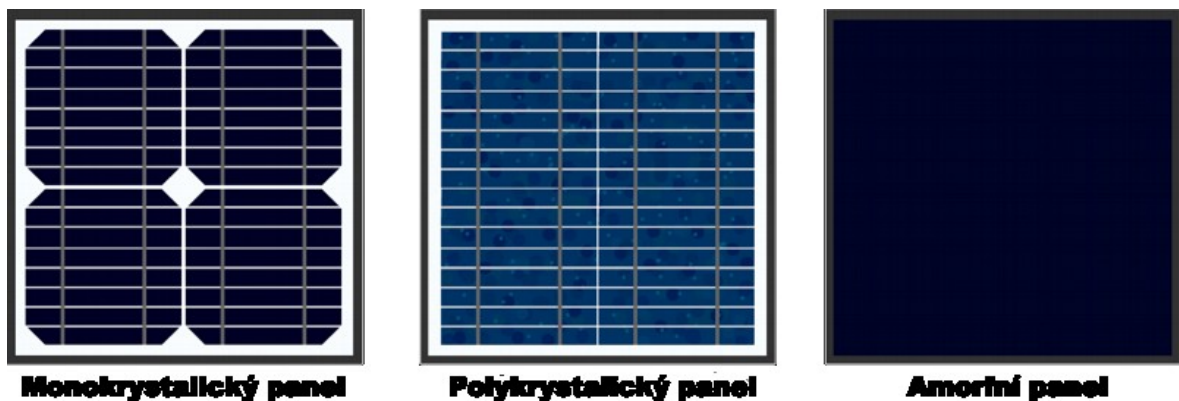
3.2.3 Amorfni články (tenkovrstvé)

Amorfni články jsou menší a lehčí než panely z krystalického křemíku. Jedná se o tenký film nekystalického křemíku, který lze nanášet na různé materiály, například sklo, plast nebo kov. Tenkovrstvé panely lze vyrábět jako celé moduly najednou. Používají se přede-

vším pro malé výkony, například pro napájení solárních lampiček nebo solárních hodin. Jejich účinnost je nízká (7-10 %) a navíc se rychle snižuje, což znamená, že po několika letech mohou ztratit až několik procent své účinnosti. To je poměrně velký úbytek, vzhledem k tomu, že jejich celková účinnost je nízká. Na druhou stranu jsou tenkovrstvé panely nejlevnější z dostupných typů fotovoltaických panelů. Díky tomu mají potenciál se v budoucnu stát běžně používanou technologií. [3]

Tabulka 4. Amorfní články – plusy a minusy [12]

Výhody	Nevýhody
lehké a flexibilní	nižší účinnost
nižší cena za watt	nižší výkon
snadná instalace	kratší životnost
minimální vliv na životní prostředí	
lepší výkon při slabém osvětlení	



Obrázek 8. Srovnání jednotlivých typů článků [13]

Jak je vidět na obrázku 8, fotovoltaické články se na první pohled mohou zdát podobné, ale jsou mezi nimi viditelné rozdíly. Monokrystalické mají tmavě černou barvu a hladký povrch s viditelnými mřížkovými vzory. Polykrystalické mají modro-šedou barvu a krystalický povrch s nepravidelnými vzory a amorfní mají tmavě šedou nebo černou barvu a jednotný, hladký povrch. [3]

4 KOMPONENTY FV SYSTÉMŮ

Pro výrobu elektřiny ze slunce je potřeba kromě solárních panelů i další zařízení. Tato zařízení mají vliv na celkovou účinnost systému, jeho cenu i dobu návratnosti.

Patří sem:

- Akumulátory
- Střídače
- Odpojovače zátěže
- Pojistná zařízení
- Měřicí zařízení
- Záložní zdroje
- Nosné konstrukce [3]

4.1 Akumulátory

Akumulátory jsou důležitou součástí fotovoltaických elektráren. Akumulátory pro fotovoltaické elektrárny jsou zařízení, která slouží k ukládání elektrické energie vyrobené solárními panely. Tato energie může být využita později, například v noci nebo v době, kdy je slunce nízko na obloze. Mezi důležité parametry akumulátorů pro FVE patří kapacita, jmenovité napětí, vnitřní odpor, nabíjecí a vybíjecí proud, cyklická životnost a cena. Kapacita akumulátoru určuje, kolik elektrické energie může akumulátor uložit. Čím větší je kapacita akumulátoru, tím více energie může uložit a tím déle vydrží. Jmenovité napětí udává výrobce baterie jako referenční hodnotu pro správnou funkci. Cyklická životnost akumulátoru určuje, kolikrát lze akumulátor vybit a nabít, než se jeho výkon začne výrazně snižovat. Cena akumulátorů pro FVE závisí na typu akumulátoru, jeho kapacitě. Akumulátory pro fotovoltaické elektrárny mají kratší životnost než fotovoltaické panely. Náklady na výměnu akumulátorů mohou být vyšší než náklady na pořízení fotovoltaických panelů. [3]

4.1.1 Olověné

Olověné akumulátory jsou nejběžnějším typem akumulátorů pro fotovoltaické elektrárny. Liší se od startovacích akumulátorů v automobilech tím, že jsou konstruovány pro hluboké vybíjení a mají nízké samovybíjení. Olověné akumulátory se používají již mnoho let a jejich technologie je dobře vyzkoušená. [3]

4.1.2 Alkalické

Mezi alkalické akumulátory patří Ni-Cd, NiMH a Ni-Fe. Ve fotovoltaických systémech se používají Ni-Cd akumulátory s kapsovými elektrodami. Výhodou je jejich delší životnost, uvádí se 10–20 let. Dobře snášejí dlouhodobé vybití. Nevýhodou je paměťový efekt, tj. pokles kapacity, pokud se občas nevybijí úplně. Energetická účinnost je nižší než u olověných akumulátorů. [3]

4.1.3 Lithium-iontové

Lithium-iontové baterie jsou pro fotovoltaické elektrárny zatím drahé, ale mají řadu výhod. Jsou lehčí než olověné baterie, mají vyšší napětí a netrpí paměťovým efektem. Nevýhodou je jejich krátká životnost, která je asi 10 let. Také postupně ztrácejí kapacitu, a to bez ohledu na to, zda se používají. Mezi nejčastější lithium-iontové baterie patří LiFePO₄ a k méně častým patří NMC a LTO. [3]

4.2 Střídače

V domácnosti se používá střídavé efektivní napětí o hodnotě 230 V a frekvenci 50 Hz. Solární články však vyrábějí stejnosměrné napětí. Proto je nutné stejnosměrné napětí ze solárních článků přeměnit na střídavé napětí, které je použitelné v domácnosti. [3]

Střídač lze považovat za srdce FVE. S tím, jak se zvyšuje počet fotovoltaických systémů připojených k síti, rostou také požadavky na kvalitu použitých střídačů. Musí fungovat bezproblémově po dlouhou dobu, aby bylo možné získat maximální možný užitek. Měníče by měly přeměňovat stejnosměrné napětí na střídavé napětí s co nejvyšší účinností, aby se minimalizovaly ztráty energie. [3]

Střídač mění stejnosměrný proud na střídavý proud pomocí spínačů v můstkovém zapojení. Tyto spínače řídí algoritmus na bázi pulsně šířkové modulace (PWM). Algoritmus PWM funguje tak, že kopíruje průměrnou hodnotu referenčního signálu pomocí obdélníkových pulzů. Tyto pulzy vznikají zapínáním a vypínáním spínačů. V tomto případě algoritmus PWM používá jako referenční hodnotu napětí a frekvenci sítě. Díky tomu má výstupní proud FVE požadovanou kvalitu a je možné ho dodávat do distribuční sítě. Na výstupu střídače bývá umístěn filtr, který odstraňuje nežádoucí frekvence, které měnič produkuje. FV střídače lze doplnit i transformátorem, který galvanicky odděluje FV panely od sítě. Toto oddělení je nezbytné z důvodu potenciálního vzniku svodových proudů, které se objevují vlivem rozdílných hodnot zemních potenciálů FV pole a sítě. [8]

4.3 Záložní zdroj

Pro provoz fotovoltaického systému, který není připojen k elektrické síti, je nutný záložní zdroj energie. Nejčastěji se používá elektrocentrála na benzín. Tyto generátory jsou přenosné a snadno se používají. Jsou však také hlučné a produkují emise. U větších výkonů se používá diesellová centrála, protože je výkonnější než elektrocentrála na benzín. [3]

4.4 Měřicí zařízení

Elektrická energie, která je směřována do sítě, musí být měřena. Pokud má domácnost fotovoltaický systém, obvykle se používají dva elektroměry. Jeden měří elektřinu vyrobenou solárním systémem a druhý elektřinu dodávanou do domu ze sítě, případně i z FVE do sítě (dvoucestný elektroměr). [3]

4.5 Ochrana rozvodů

Ochrana rozvodů u FVE je součástí každého fotovoltaického systému. Slouží k ochraně lidí, majetku a zařízení před škodami způsobenými elektrickým proudem. Ochrana rozvodů u FVE se musí dodržovat v souladu s platnými normami a předpisy.

Normy:

- ČSN EN 60364-4-41: Nízkonapěťové elektrické instalace - Část 4-41: Bezpečnostní požadavky na rozvodné systémy s fotovoltaickými (FV) zdroji energie
- ČSN EN 62109-1: FV moduly - Část 1: Definice, zkušební metody a klasifikace bezpečnostních vlastností
- ČSN EN 62109-2: FV moduly - Část 2: Zkoušky bezpečnosti
- ČSN EN 61727: FV systémy - Zkušební metody
- ČSN EN 62112: FV systémy - Ochrana proti blesku a přepětí
- ČSN EN 61643: Nízkonapěťové spínací a řídicí přístroje - Část 11: Specifikace pro přepěťové ochranné zařízení pro nízkonapěťové napájecí systémy

Předpisy:

- Zákon č. 40/2012 Sb., o hospodaření energií: Stanovuje základní podmínky pro výrobu a spotřebu energie, včetně požadavků na FVE.

- Vyhláška č. 17/2013 Sb., o stanovení technických požadavků na výrobky: Určuje technické požadavky, které musí FVE splňovat pro uvedení na trh.
- Vyhláška č. 494/2001 Sb., kterou se stanoví technické požadavky na požární bezpečnost staveb: Stanovuje požární požadavky na instalaci FVE.

Správná ochrana rozvodů u FVE zabezpečí správné fungování fotovoltaického systému. Pravidelná kontrola a údržba je nezbytná pro správnou funkci. [14]

4.5.1 Nadproudová ochrana

Ochrana proti nadproudu je důležitým prvkem každého elektrického obvodu. Chrání zařízení před poškozením způsobeným nadměrným proudem. Tyto nadproudy mohou vzniknout při zkratu, průrazu izolace nebo nadměrném zatížení obvodu. Ochrany proti nadproudu se do elektrického obvodu zapojují sériově tak, aby byly před chráněnými zařízeními. Při dosahu proudu nad stanovenou mez rozpojí své vnitřní kontakty. Tím se zabrání možnému poškození zařízení a případně i nebezpečnému dotykovému napětí. Existují dva hlavní typy ochrany proti nadproudu. Jedná se o jističe, které detekují nárůst proudu pomocí bimetalové destičky, která se při přetížení obvodu ohřeje a ohne. Tím se rozevrou kontakty jističe a obvod se odpojí. Druhou možností jsou relé nadproudové ochrany, které (RCBO) detekují nárůst proudu pomocí elektromagnetického relé. Tato relé se při přetížení obvodu sepnou a odpojí kontakty RCBO. Výběr správného typu ochrany proti nadproudu závisí na konkrétních požadavcích FV systému. [14]

4.5.2 Přepět'ová ochrana

Přepět'ová ochrana je důležitým prvkem každé rozvodné sítě. Chrání elektrická zařízení a rozvody před poškozením způsobeným přepětím. Přepětí může být způsobeno bleskem, kratšími spoji nebo jinými poruchami v síti. Přepět'ová ochrana funguje tak, že absorbuje přebytečnou energii přepětí, a chrání tak připojená zařízení před poškozením. Přepět'ová ochrana se do rozvodné sítě instaluje v blízkosti chráněných zařízení. Výběr správného typu a velikosti přepět'ové ochrany závisí na konkrétních požadavcích na ochranu. Přepět'ová ochrana je nezbytná pro zajištění bezpečného provozu rozvodné sítě. [14]

Přepět'ové ochrany se podle druhu chráněného zařízení, umístění a hodnoty bleskového proudu, který musí přepět'ová ochrana po dobu působení přepět'ové vlny nechat sebou protéct, rozdělují do tří bezpečnostních tříd:

- Třída 1 je určena pro ochranu před bleskovým proudem. Musí být schopna odvést bleskový proud 50 kA. Je instalována na vstupu do budovy, aby chránila celou budovu a připojená zařízení.
- Třída 2 je určena pro ochranu před přepětím způsobeným kratšími spoji nebo jinými poruchami v síti. Musí být schopna odvést přepětový proud 15 kA. Je nainstalována u vstupu do rozvaděče, aby chránila rozvaděč a připojená zařízení.
- Třída 3 je určena pro ochranu citlivých zařízení, jako jsou počítače nebo telekomunikační zařízení. Musí být omezeno napětí přepětové vlny na bezpečnou úroveň. Je instalována v blízkosti citlivých zařízení, která chceme ochránit. [14]

4.6 Nosné konstrukce FV panelů

Nosné konstrukce pro fotovoltaiku jsou systémy, které slouží k upevnění fotovoltaických panelů na střechu, fasádu nebo pozemek. Nosné konstrukce musí být dostatečně pevné, aby unesly hmotnost panelů a zatížení větrem a sněhem. Musí být také odolné vůči korozi a dalším povětrnostním vlivům. Existuje několik typů nosných konstrukcí pro fotovoltaiku, které se liší podle místa instalace, typu střech nebo fasád a dalších faktorů.

Dělení dle umístění:

- Nosné konstrukce pro šikmé střechy jsou nejběžnějším typem nosných konstrukcí pro fotovoltaiku. Jsou připevněny na střešní krytiny a slouží přímo na upevnění panelů v požadované poloze. Nosné konstrukce pro šikmé střechy mohou být vyrobeny z kovu nebo dřeva.
- Nosné konstrukce pro rovné střechy jsou obvykle složitější než konstrukce pro šikmé střechy. Musí být schopné odolat většímu zatížení větrem a sněhem.
- Nosné konstrukce pro fasády jsou připevněny ke stěně domu a slouží k upevnění panelů v požadované poloze.
- Nosné konstrukce pro pozemek jsou obvykle vyrobeny z kovu a jsou zakopány do země. [14]

4.6.1 Materiál nosných konstrukcí

Kovové nosné konstrukce jsou vyrobeny z oceli, hliníku nebo mědi. Ocelové nosné konstrukce jsou nejpevnější a nejodolnější vůči korozi. Hliníkové nosné konstrukce jsou lehčí než ocelové nosné konstrukce a jsou také odolné vůči korozi. Měděné nosné konstrukce jsou nejdražší, ale jsou také velmi odolné vůči korozi. Kovové nosné konstrukce jsou obvykle vyráběny z trubek nebo profilů. Trubky jsou obvykle používány pro nosné konstrukce pro šikmé střechy. Profily jsou obvykle používány pro nosné konstrukce pro rovné střechy nebo pro fasády. [14]

Dřevěné nosné konstrukce jsou vyrobeny z měkkého nebo tvrdého dřeva. Měkké dřevo je méně odolné. Dřevěné nosné konstrukce jsou obvykle vyráběny z hranolů nebo fošen. Hranoly jsou obvykle používány pro nosné konstrukce pro šikmé střechy. Fošny jsou obvykle používány pro nosné konstrukce pro rovné střechy nebo pro fasády. [14]

4.6.2 Druhy nosných konstrukcí

Fotovoltaické panely musí být nakloněny tak, aby co nejlépe absorbovaly sluneční záření. K tomu používají různé nosné konstrukce, které panely udržují v požadované poloze. Pro FV panely existují tři základní typy nosných konstrukcí. [14]

4.6.2.1 Pevné konstrukce

FV panely na pevných nosných konstrukcích jsou vždy nakloněny pod stejným úhlem. Proto je důležité vybrat tento úhel tak, aby byl optimální pro danou lokalitu a roční období. Pevné konstrukce jsou nejlevnějším a nejjednodušším typem nosných konstrukcí. Mají však nejnižší využití slunečního záření během roku. [14]

4.6.2.2 Konstrukce s jednoosým natáčením

Oproti pevným konstrukcím se liší tím, že panely se mohou naklánět kolem jedné osy. To panelům umožňuje sledovat pohyb slunce během dne při stálém sklonu nebo sledovat změnu úhlu dopadajícího slunečního záření v závislosti na poloze slunce na obloze. Problémem konstrukce je sklon panelů. Konstrukce s jednoosým natáčením dosahují oproti pevným konstrukcím zhruba o 10 % vyšší účinnosti. Jejich nevýhodou je vyšší cena a náklady na údržbu, které jsou způsobeny poruchami otáčecího mechanismu. [14]

4.6.2.3 Konstrukce s dvouosým natáčením

Konstrukce s dvouosým natáčením umožňuje panelům sledovat pohyb slunce po obloze ve všech směrech. To zajišťuje maximální účinnost využití slunečního záření, která je oproti pevným konstrukcím až o 30 % vyšší. Nevýhodou konstrukce s dvouosým natáčením je stejně jako u jednoosých konstrukcí vyšší cena a poruchovost. Dále je třeba počítat s tím, že panely jsou nakloněné pod větším úhlem, což může vést k neefektivnímu využití plochy, na které je systém instalován. [14]

4.7 Možnosti montáže

Výběr správného místa pro umístění FV panelů je důležitý pro zajištění maximálního výkonu a životnosti systému. Při výběru místa pro umístění FV panelů je třeba zvážit následující faktory:

- **Orientace** - ideální orientace pro FV panely je jih. Panely orientované na jih získávají více slunečního záření než panely nastavené na jiné světové strany.
- **Sklon** - ideální sklon pro FV panely je 30-45 stupňů. Tento sklon umožňuje, aby se panely lépe vyrovnaly s měnící se polohou slunce během dne.
- **Stínění** - FV panely by měly být umístěny na místo, které je chráněno před stíněním stromy nebo budovami. Stínění může snížit množství slunečního záření, které panely absorbují.
- **Zátěž** - FV panely mají určitou váhu, která může přetížit střechu nebo fasádu. Je důležité zkontrolovat, zda je střecha dostatečně pevná, aby unesla hmotnost FV panelů. [14]

FV panely lze na rodinném domě umístit na následující místa:

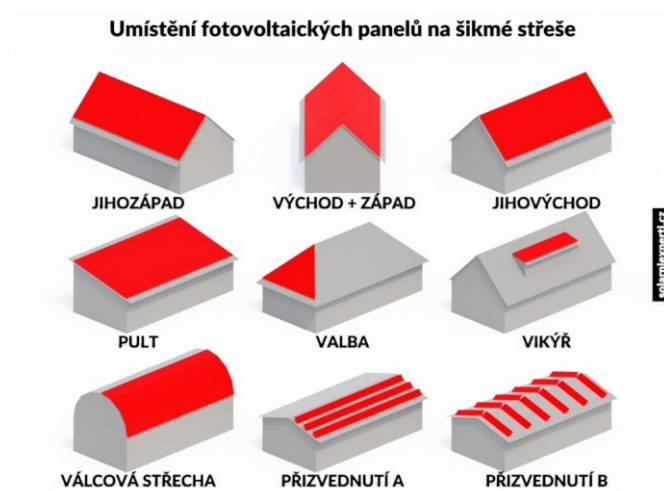
- **Střecha** je nejběžnějším místem pro umístění FV panelů. Střecha je obvykle dostatečně velká a rovná, aby se zde mohl instalovat potřebný počet panelů. Střecha je také obvykle orientována na jih, což je nejlepší orientace pro získání maximálního množství slunečního záření.
- **Fasáda** je obvykle méně vhodná než střecha. Fasáda může být stíněna stromy nebo jinými budovami.

- **Plocha kolem domu** je také vhodná pro umístění FV panelů. Tato možnost je méně častá, ale může být vhodná pro domy s malou střechou nebo fasádou. [14]

4.7.1 Montáž na střechu

Kromě tradičních úloh, jako je ochrana před povětrnostními vlivy a tepelná ochrana, může střecha také plnit funkci solárně aktivní plochy. Střecha je vhodným místem pro montáž fotovoltaických zařízení. Je horní částí budovy, která nabízí velkou plochu. Je také obvykle nejméně stíněnou částí budovy. Montáž se provádí jak na šikmé, tak na rovné střechy. [14]

4.7.1.1 Šikmé střechy



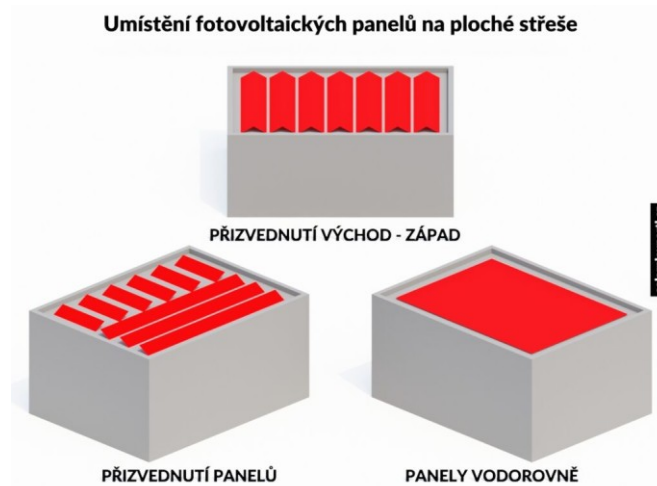
Obrázek 9. Umístění na šikmé střeše [15]

Montáž FV panelů na šikmé střechy je náročnější a dražší než na rovné střechy. Panely je nutné nainstalovat na nosný systém, který je pevný a stabilní. Nejčastější způsoby montáže FV panelů na šikmou střechu jsou:

- **Montáž na střešní krokve:** Panely jsou připevněny přímo na střešní krokve pomocí speciálních držáků. Tato metoda je jednodušší a levnější, ale může být méně estetická.
- **Montáž na konstrukci:** Panely jsou připevněny na konstrukci, která je namontována na střechu. Tato metoda je odolnější a může být také estetičtější, ale je náročnější na instalaci a je dražší. [14]

4.7.1.2 Rovné střechy

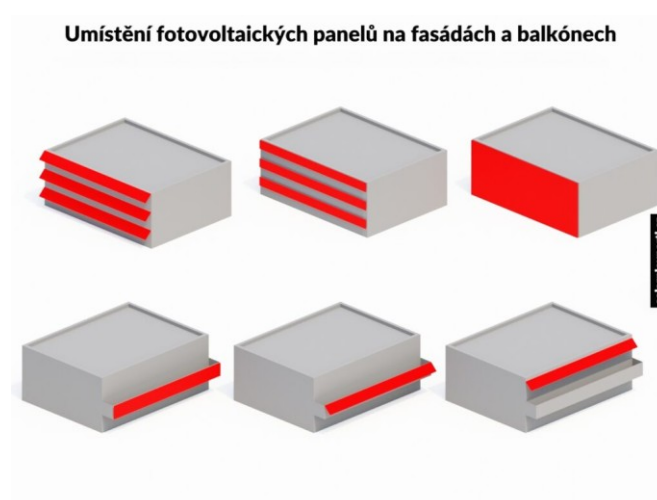
Montáž FV panelů na rovné střechy je jednodušší a levnější než na šikmé střechy. Panely lze instalovat přímo na střešní krytinu nebo na nosný systém.



Obrázek 10. Umístění na ploché střeše [15]

Při montáži na střešní krytinu jsou panely připevněny přímo na střešní krytinu pomocí speciálních držáků. Tato metoda je jednodušší a levnější, ale může být méně estetická. U druhé možnosti jsou panely připevněny na nosný systém, který je namontován na střechu. Tato metoda je odolnější a může být také estetičtější, ale je náročnější na instalaci a je dražší. [14]

4.7.2 Montáž na stěnu



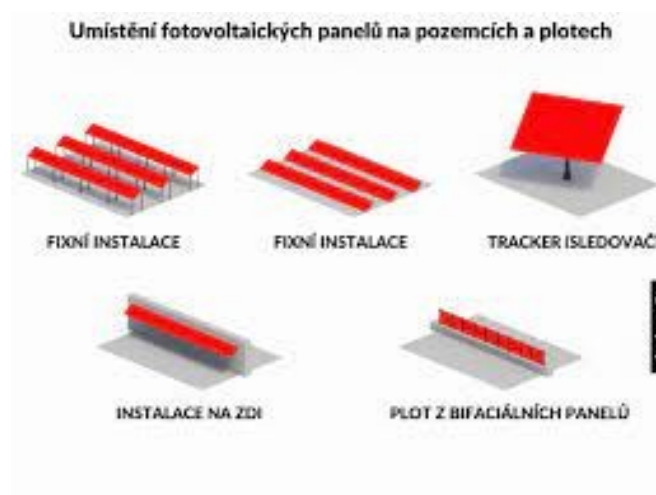
Obrázek 11. Umístění na stěnách [15]

Montáž FV panelů na stěnu nebo fasádu je možností, která může být vhodná pro domy s malou nebo žádnou střechou, nebo pro domy, kde není možné nainstalovat FV panely na

střechu z důvodu různých omezení nebo dalších faktorů. Při instalaci je potřeba zvážit orientaci stěny, sklon, stínění a možné zatížení. Nejčastějším způsobem montáže je na nosný systém nebo na stěnové držáky. [14]

4.7.3 Montáž na pozemek

Montáž FV panelů na pozemku rodinného domu je možností, která může být vhodná pro domy s malou nebo žádnou střechou.



Obrázek 12. Umístění na pozemku [15]

Nejčastější způsoby montáže FV panelů na pozemku rodinného domu jsou:

- **Montáž na nosnou konstrukci:** Panely jsou připevněny na nosnou konstrukci, která je zakopána do země. Tato metoda je odolnější a může být také estetičtější, ale je náročnější na instalaci a je dražší.
- **Montáž na zemní držáky:** Panely jsou připevněny přímo k zemi pomocí speciálních držáků. Tato metoda je jednodušší a levnější. [14]

Správné umístění FV panelů zajistí efektivní návratnost investice a přispěje k šetrnému využití sluneční energie. Za pomoci on-line nástroje lze nasimulovat sluneční záření a stínění. [14]

5 LEGISLATIVA A DOTACE

Legislativa u FVE pro rodinné domy je v České republice poměrně příznivá. Instalace FVE na rodinném domě je jednoduchá a umožňuje získat podporu formou výkupu elektřiny. V České republice je instalace fotovoltaických systémů pro rodinné domy upravena následujícími právními předpisy:

- **Energetický zákon č. 458/2000 Sb.** - stanoví, že instalace FVE na rodinném domě nepodléhá stavebnímu povolení, ale pouze ohlášení stavebnímu úřadu. Ohlášení musí být podáno před zahájením prací na instalaci FVE.
- **Zákon o podporovaných zdrojích energie č. 165/2012 Sb.** - stanoví, že FVE na rodinném domě může být podporována formou výkupu elektřiny na základě smlouvy o výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie.
- **Nařízení vlády č. 17/2013 Sb.** - stanoví technické požadavky. Mezi tyto požadavky patří například:
 - FVE musí být instalována tak, aby neohrožovala bezpečnost osob a majetku.
 - FVE musí být instalována tak, aby nezasahovala do zájmů ochrany přírody a krajiny.
 - FVE musí být instalována tak, aby byla co nejúčinnější. [16]

5.1 Připojení do distribuční sítě

Od února roku 2016 platí vyhláška, která zavádí nový druh výroby elektřiny, tzv. mikrozdroje. Tyto zdroje mohou vyrábět elektřinu ze slunce a být připojeny na distribuční soustavu bez licence od Energetického regulačního úřadu. K tomu je však nutné dodržet několik základních podmínek. Jednou z nich je, že instalovaný výkon soustavy nesmí přesáhnout 10 kW. Druhou podmínkou je, že v tomtéž odběrném místě nesmí být připojena žádná jiná solární elektrárna, která je provozována pod licenci. [16]

„Jedná se o instalaci s maximálním výkonem do 10 kW včetně, se jmenovitým střídavým fázovým proudem do 16 A na fázi a připojenou k distribuční soustavě. Mikrozdroy musí být rovněž vybaven zařízením, které zamezuje dodávce elektřiny do distribuční soustavy v místě připojení, s výjimkou krátkodobých přetoků elektřiny do distribuční soustavy, které slouží pro reakci omezujícího zařízení, ale které nezvýší hodnotu napětí v místě připojení. Pro tyto tzv. mikrozdroje pak vyhláška stanovuje zjednodušený proces připojení. Pokud žadatel

prokáže, že maximální hodnota impedance proudové smyčky v místě připojení je pro zdroje do 16 A na fázi 0,47 Ω a pro zdroje do 10 A na fázi 0,75 Ω , pak mu na připojení vzniká nárok. Provozovatel distribuční soustavy ho v takovém případě musí připojit a připravit novou smlouvu nebo dodatek ke stávající smlouvě o připojení vlastníka mikrozdroje jako zákazníka (odběratele).“ [16]

5.2 Dotace – nová zelená úsporám (standard)

Ministerstvo životního prostředí ČR ve spolupráci se Státním fondem životního prostředí poskytuje podporu majitelům budov, kteří chtějí snížit energetickou náročnost svých budov. Podpora se týká obytných domů, kde dotace pro FVE pro rodinné domy činí 51.000 Kč až 160.000 Kč. Z operačního programu životního prostředí lze čerpat podporu pro budovy veřejného sektoru. [17]

5.2.1 Podoblast podpory C. 3

„Podpora se poskytuje na pořízení a instalaci nového fotovoltaického systému propojeného s vnitřními rozvody elektrické energie a distribuční soustavou, určeného pro výrobu elektrické energie s přednostním využitím vyrobené energie v obytných částech budovy, připouští se dodávka nevyužité energie do distribuční soustavy nebo její využití v místním energetickém společenství, do něhož je tato budova zapojena. Systémy bez propojení s distribuční soustavou jsou podporovány pouze v případech, kdy rodinný dům není připojen k distribuční soustavě, popř. z technických důvodů provozovatel distribuční soustavy připojení FV systému nepovolil. Pro ověření splnění zásad 3E (hospodárnost, účelnost, efektivnost) může žadatel využít výpočetní nástroj, který je k dispozici na webových stránkách programu. Nástroj mu poskytne odhad úspor a ekonomické návratnosti pro optimalizaci návrhu.“ [17]

O dalších podmínkách pro podoblast C. 3 je možné se dočíst na stránkách www.novazelenausporam.cz, kde je vše podrobně popsáno v dokumentu „Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory - Rodinné domy (Standard)“.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

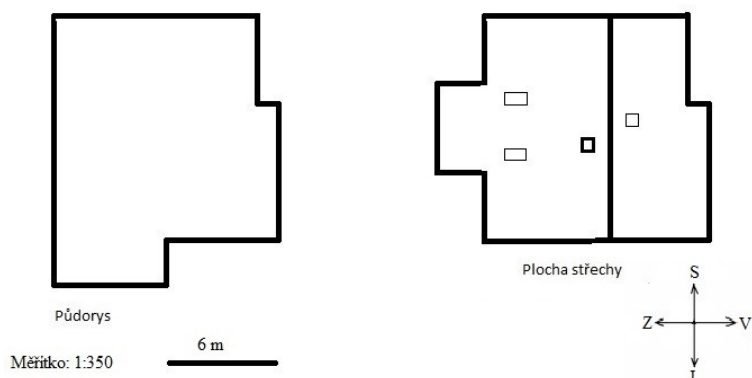
6 INFORMACE O OBJEKTU

Pro návrh FVE jsem vybral objekt, který je mi velmi blízký. Jedná se o rodinný dům, kde jsem vyrůstal. Rodinný dům je samostatně stojící, nachází se v rovinném terénu v klidné části malé obce, v okrese Olomouc. Nejbližší stavby se nacházejí asi 30 metrů od tohoto objektu. Jedna stavba je podobně vysoká a druhá je nižší ve srovnání s uvedeným objektem. Přes cestu, v rozpadlé stodole, jsou vzrostlé stromy, které stíní východní částí domu, ale pouze po dobu jedné hodiny po rozednění.



Obrázek 13. Východní pohled na objekt [vlastní zdroj]

Zastavěná část budovy je podle vyměření katastru nemovitostí 120 m^2 . Půdorys budovy je složitější a je zobrazen na obrázku 14.



Obrázek 14. Půdorys a plocha střechy rodinného domu [vlastní zdroj]

Rodinný dům je podsklepený. V prvním nadzemním podlaží se nachází společné prostory (kuchyň, jídelna a obývací pokoj). Ve druhém nadzemním podlaží se nachází koupelna, ložnice a dva pokoje. Nad těmito pokoji se nachází půdní prostor, který se používá primárně pro účely vstupu na střechu přes střešní průlez a na doplnění expanzní nádrže.

6.1 Popis střechy

Střecha objektu je sedlová, kde jedna strana je směřována na východ a druhá na západ. Sklon je 28° na obě strany. Východní strana je kratší než západní, jak je vidět na obrázku 14. Přístup na střechu je řešen, jak již bylo řečeno výše, průlezem přes půdu. Tento průlez se nachází ve východní části střechy. V západní části střechy je umístěn komín a dvě střešní okna. Celková plocha střechy činí 143 m².

6.2 Spotřeba objektu

V objektu je elektrická energie používána ke svícení a provozu běžných spotřebičů, jako jsou televize, lednička, nabíječky telefonů apod. Topení, vaření a ohřev teplé vody jsou řešeny prostřednictvím dodávky plynu. Za rok 2023 byla roční spotřeba rodinného domu 1153,2 kWh. Cena, kterou majitelé rodinného domu platí za 1 kWh, činí 6,91 Kč. Tuto cenu jsem zprůměroval z faktury za dodávku elektrické energie. Pro srovnání uvádím předcházející roky, které byly rozdílné, a to konkrétně rok 2022 se spotřebou 1049,8 kWh a rok 2021 se spotřebou 1419,7 kWh.

Tabulka 5. Spotřeba a ceny v RD [vlastní zdroj]

2023	Cena za 1 kWh	Spotřeba kWh	Cena za měsíc
leden	6,91 Kč	115,9	800,87 Kč
únor	6,91 Kč	101,6	702,06 Kč
březen	6,91 Kč	99,8	689,62 Kč
duben	6,91 Kč	95,3	658,52 Kč
květen	6,91 Kč	92,3	637,79 Kč
červen	6,91 Kč	89,7	619,83 Kč
červenec	6,91 Kč	72,1	498,21 Kč
srpen	6,91 Kč	84,3	582,51 Kč
září	6,91 Kč	86,7	599,10 Kč
říjen	6,91 Kč	95,2	657,83 Kč
listopad	6,91 Kč	101,4	700,67 Kč
prosinec	6,91 Kč	118,9	821,60 Kč
Celkem 2023		1153,2	7 968,61 Kč

Informace k vyplnění tabulky 5 jsem získal z faktury za elektřinu a ze zápisů majitelů rodinného domu. Majitelé si vždy k prvnímu dni v měsíci napíší stav elektroměru. Jak je vidět z tabulky 5, tak se spotřeba během roku mění. Nejvíce energie je spotřebováno v zimním období, kdy je délka slunečního svitu velmi krátká, a proto se déle svítí.

7 NÁVRH FVE

Tato kapitola bude věnována samotnému návrhu FVE a výběru technologií. Budou zde srovnány různé možnosti instalace FV panelů na střeše. Zbývající součásti FVE, jako střídač a bateriové úložiště, by byly umístěny ve sklepních prostorách.

7.1 Srovnání FV panelů

Při výběru techniky hraje největší roli specifikace produktu. Pro fotovoltaickou elektrárnu na rodinný dům byly zvoleny monokrystalické panely. Důvodem je jejich vyšší účinnost, která umožňuje generovat více energie z dané plochy střechy ve srovnání s polykrystalickými panely.

V tabulce 6 lze vidět, že rozdíly v parametrech jsou z jedné poloviny stejné nebo s minimálními rozdíly, a z druhé poloviny se dost odlišují. K odlišným parametrům patří hodnoty napětí a proudu, a také garance výkonu, kdy panely Xtend Solarmi garantují po 30 letech výkon 85 %, kdežto panely DAH SOLAR garantují podobný výkon, a to 84,8 %, ale již po 25 letech.

Tabulka 6. Srovnání FV panelů [vlastní zdroj]

Typ panelů	Xtend Solarmi AS-7M144-HC-B- 550	DAH SOLAR - DHM- T72X10/FS(BW)
Max. Výkon [W_p]	550	550
Napětí naprázdno [V]	50	74,7
Zkratový proud [A]	13,94	9,31
Napětí Max. Výkonu [V]	41,8	63
Proud Max. Výkonu [A]	13,16	8,73
Účinnost [%]	21,28	21,28
Váha [kg]	29	29
Rozměry [mm]	2279 x 1134 x 35	2279 x 1134 x 32
Provozní teplota [°C]	- 40 až + 85	- 40 až + 85
Počet článků (rozměr) [ks(mm)]	144 (91 x 182)	216 (6 x 36)
Garance výkonu v letech	30	25

Informace do tabulky 6 jsou čerpány z technických specifikací. [18],[19]

7.2 Výběr komponentů

Pro návrh FVE byl zvolen panel Xtend Solarmi AS-7M144-HC-B-550. Jeho nízká cena 3.400 Kč, oproti 4.500 Kč za druhý typ panelu, a o pět let delší garance na výkon, byla

rozhodujícími parametry pro výběr. Díky pasivované zadní straně každého článku je panel schopný absorbovat více světla. Tato technologie právě umožňuje dosáhnout vysoké konverzní účinnosti. Díky tomu panely dosahují lepšího poměru výkon/plocha a špičkového výkonu v provozních podmínkách.



Obrázek 15. Střídač [20]

Dalším důležitým komponentem je střídač. Byl zvolen střídač SOFAR HYD 8KTL, který je hybridním měničem s akumulací do baterií. Mezi hlavní důvody výběru patří až 8 kW napájení při výpadku veřejné sítě. Dva MPPT trackery a jeden bateriový port umožňuje vícenásobnou konfiguraci kapacity baterie, a to po 5 kWh. Výhodou je přívětivý uživatelský systém, mnoho možností nastavení, která lze snadno ovládat a konfigurovat přes velký LCD displej. Střídač je kompatibilní s vlastní bateriovou jednotkou Sofar SOLAR.



Obrázek 16. Baterie [21]

Výběr baterií byl zjednodušený kompatibilitou se střídačem. Jedná se o bateriový blok SOFAR SOLAR GTX3000-H4. Skládá se z několika baterií LiFePO₄, kdy každá má jme-

novité napětí 51,2 V a kapacitu 2,5 kWh. Poslední číslice v názvu výrobku určuje, kolik bloků je sériově zapojeno. V našem případě jsou to 4 bloky, tedy 204,8 V jmenovitého napětí a 10 kWh celkové kapacity. K dalším důležitým parametrům patří nominální nabíjecí proud a jmenovitý vybíjecí proud, který jsou shodně 25 A. Vlhkost v místě umístění by neměla přesáhnout 95 %. Váha této specifikace je 138 kg. Výrobcem garantovaný počet cyklů nabití je 6.000. V této řadě výrobku je to startovní produkt. Maximální možná kapacita bateriového bloku je až 25 kWh (označení H10). Baterie splňuje certifikace podle IEC62619, UN38.3, IEC62040-1, SAA apod. Výhodou této řady baterií je vzdálená diagnostika a sledování dat v reálném čase.

Pro FVE se používá speciální typ kabeláže, která splňuje specifické požadavky na odolnost, bezpečnost a funkčnost v náročných venkovních podmínkách. Používají se jednožilové kabely s dvojitou izolací, které mají na svém plášti označení H1Z2Z2-K. Podle normy EN 50618 je kabel s tímto označením odolný vůči povětrnostním vlivům, UV záření a teplotám $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$. U FVE s výkonem do 5 kW se používají kabely s průřezem 4 mm^2 nebo 6 mm^2 . Délka kabelů by měla být co nejkratší, aby se minimalizovaly ztráty. Zároveň by kabely měly být vedeny v chráničkách, mimo dosah slunečního záření a mechanického poškození. Další možnou alternativou jsou kabely CYKY-J.

7.3 Návrh

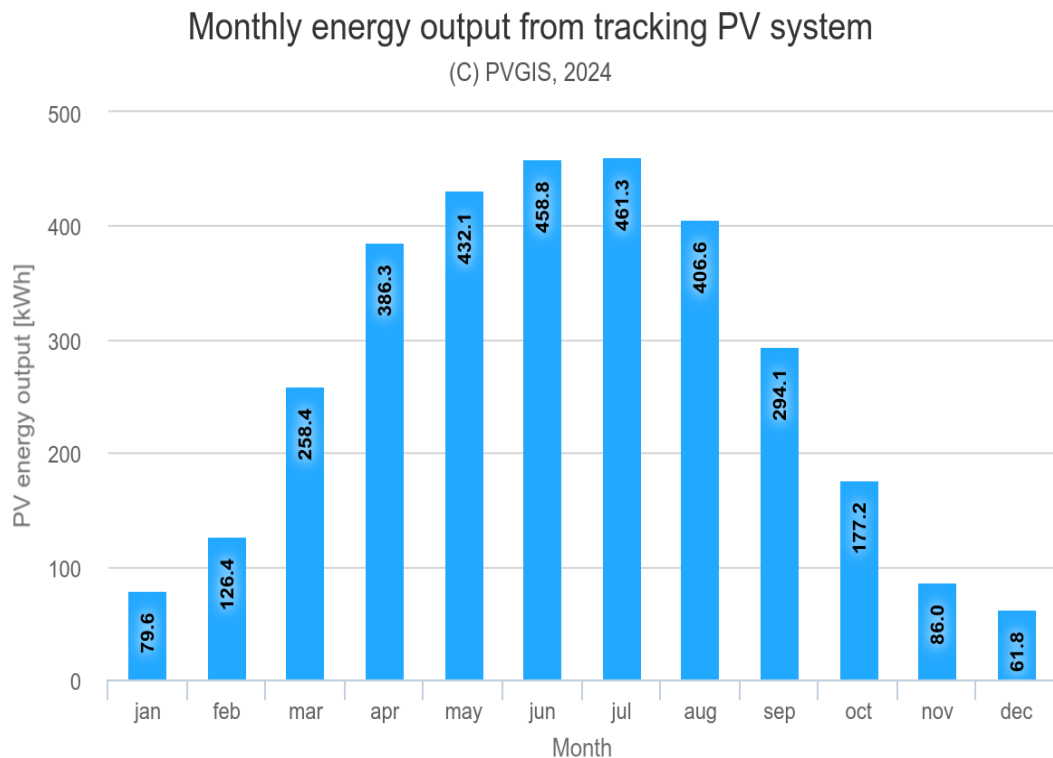
V této kapitole budou porovnány tři varianty návrhu. V první variantě budou panely umístěny na východní straně střechy, ve druhé variantě budou umístěny na západní straně a v poslední variantě budou na obou stranách. U všech variant je potřeba zohlednit střešní okna, komín a střešní průlez. Z důvodu spotřeby rodinného domu není potřeba využít celou část střechy ani u jedné z variant. Fotovoltaický geografický informační systém (PVGIS) je užitečný nástroj, díky kterému je možné zjistit množství slunečního záření na vybranou lokalitu, nebo na základě vybrané lokality spočítá, kolik energie vyrobí FVE systém za rok. Dále může simulovat různé konfigurace FVE.

7.3.1 Varianta na východ

V tomto návrhu budou panely umístěny na východní straně střechy ve dvou řadách nad sebou. Ve spodní řadě budou 4 FV panely, kdežto ve vrchní řadě budou tři, protože je zde střešní průlez z půdy. Při použití 7 panelů, kdy plocha jednoho panelu je $2,58\text{ m}^2$, by byla

zastavěná plocha 18,06 m². V předešlé kapitole byly vybrány panely s výkonem 550 W_p a jednoduchým vynásobením s počtem panelů dosáhneme výkonu 3,85 kW_p.

Z grafu na obrázku 17 lze vyčíst, že červen a červenec jsou nejproduktivnějšími měsíci v roce. Na druhou stranu měsíce listopad, prosinec a leden by nedodaly dostatek energie na pokrytí spotřeby rodinného domu.



Obrázek 17. Graf zobrazuje produkci energie při orientaci na východ [22]

Data v tabulce 7 ukazují na roční produkci energie z FVE, což je 3228,56 kWh. Dalším důležitým parametrem je celková ztráta, která činí 26,33 %. Tyto výsledky jsou propočítány na základě vstupních informací jako:

- Sklon střechy: 28°
- Instalovaný výkon: 3,85 kW_p
- Ztráta systému: 16,8 %
- Azimut: -90°
- Souřadnice objektu: 49.500 , 17.331
- Umístění: střecha

Tabulka 7. Výsledek simulace orientace na východ [22]

Výstupy simulace:	
Úhel sklonu [°]:	28
Úhel azimutu [°]:	-90
Roční produkce FV energie [kWh]:	3228,56
Roční rovinná sluneční radiace [kWh/m ²]:	1138,32
Meziroční variabilita [kWh]:	142,32
Změny ve výstupu z důvodu:	
Úhel dopadu [%] :	-3,81
Spektrální efekty [%] :	1,38
Teplota a nízké ozáření [%] :	-9,21
Celková ztráta [%]:	-26,33

7.3.2 Varianta západ

Ve variantě na západ by byly panely umístěny ve třech řadách po dvou kusech. Dvě řady tvoří společné seskupení a poslední řada je umístěna na části střechy, která stíní venkovnímu posezení. Tohoto rozdělení bylo zvoleno z toho důvodu, že na západní straně jsou dvě střešní okna a komín. Výkon varianty západ by byl 3,3 kW_p a plocha, kterou by panely zabíraly, je 15,48 m².

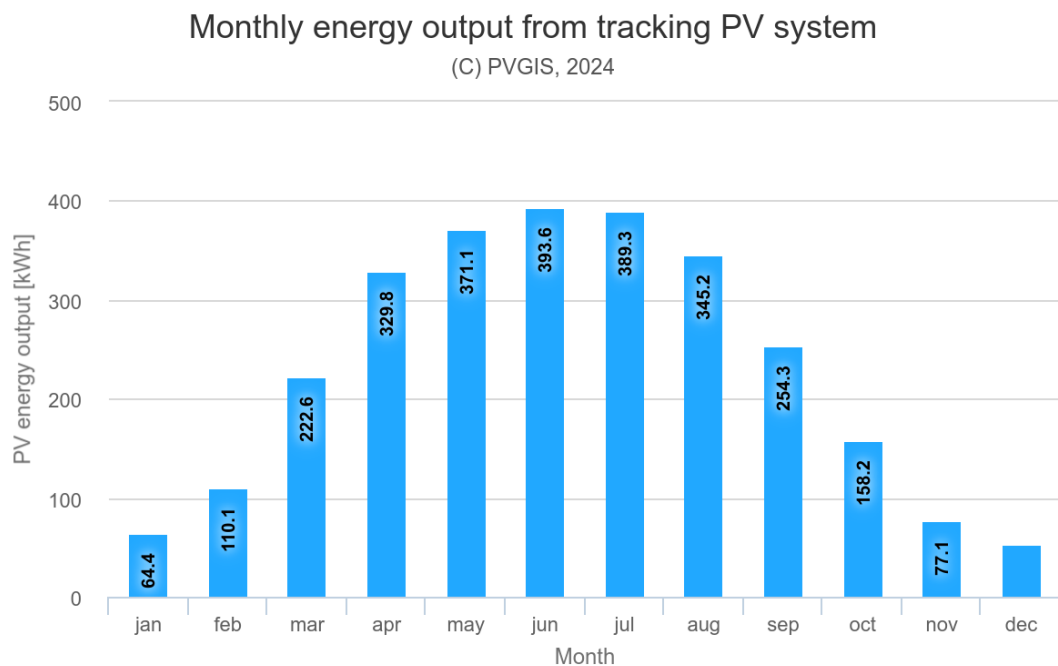
Data v tabulce 8 poukazují na roční produkci energie z FVE směřující na západ, což je 2768,48 kWh. Dalším důležitým parametrem je celková ztráta, která činí 26,57 %, což je proti variantě na východ horší o 0,24 %. Tyto výsledky jsou propočítány na základě vstupních informací jako u předešlé varianty, jen s odlišným instalovaným výkonem a azimutem:

- Sklon střechy: 28°
- Instalovaný výkon: 3,3 kW_p
- Azimut: 90°
- Ztráta systému: opět 16,8 %
- Souřadnice objektu: 49.500 , 17.331
- Umístění: střecha

Tabulka 8. Výsledek simulace orientace na západ [22]

Výstupy simulace:	
Úhel sklonu [°]:	28
Úhel azimutu [°]:	90
Roční produkce FV energie [kWh]:	2768,48
Roční rovinná sluneční radiace [kWh/m ²]:	1142,44
Meziroční variabilita [kWh]:	98,85
Změny ve výstupu z důvodu:	
Úhel dopadu [%] :	-3,88
Spektrální efekty [%] :	1,39
Teplota a nízké ozáření [%] :	-9,43
Celková ztráta [%]:	-26,57

Z grafu na obrázku 18 lze vyčíst podobná data, jaká byla v grafu na obrázku 17. Tudíž nejproduktivnějšími měsíci v roce jsou červen a červenec. A měsíce listopad, prosinec a leden by nedodaly dostatek energie na pokrytí spotřeby rodinného domu.



Obrázek 18. Graf zobrazuje produkci energie při orientaci na západ [22]

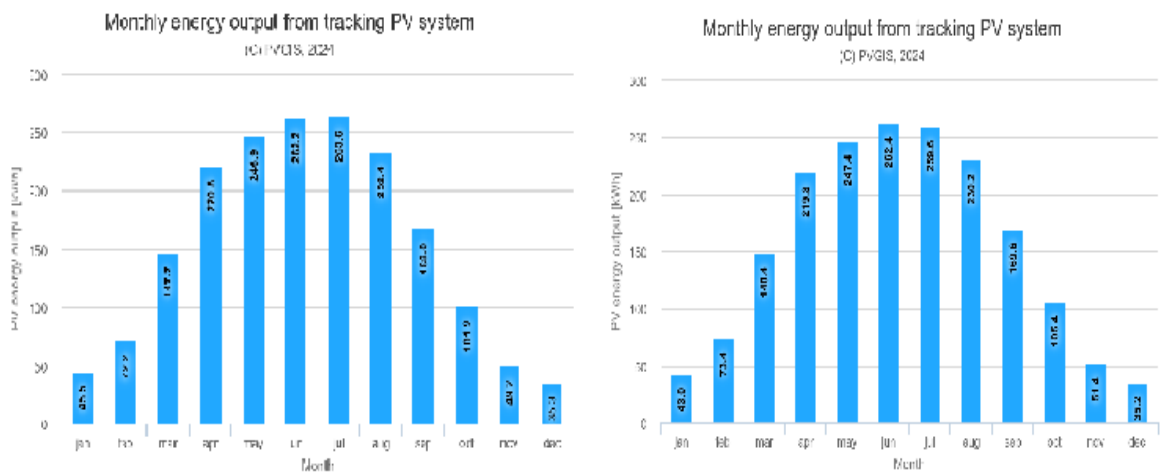
7.3.3 Varianta východ + západ

V této variantě by byly panely rozmístěny na východní a západní straně střechy. Na každé straně by byly 4 panely ve dvou řadách po dvou kusech. Celková plocha panelů by byla 20,64 m² a výkon by činil 4,4 kW_p.

Tabulka 9. Výsledek simulace orientace na východ + západ [22]

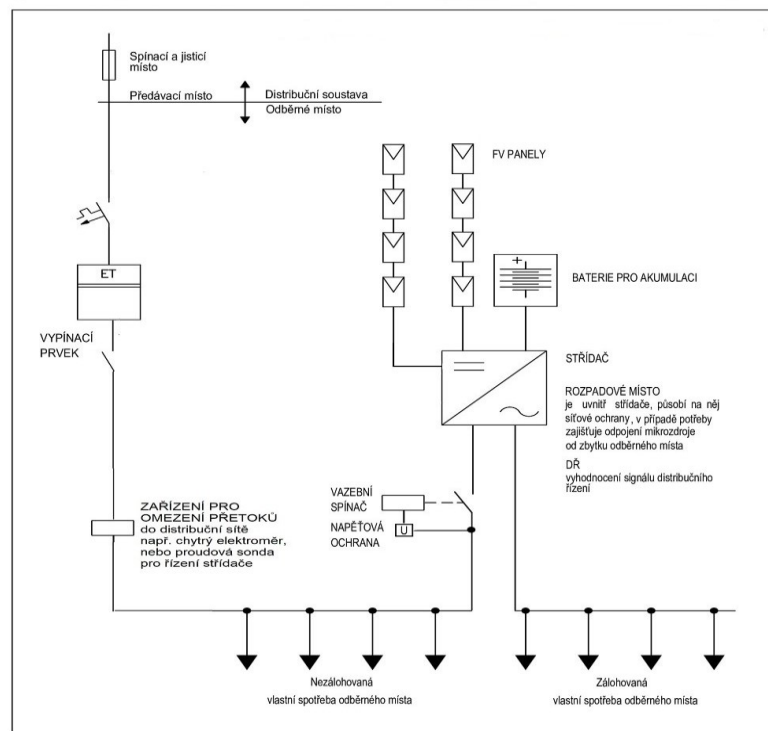
Výstupy simulace:	východ	západ
Úhel sklonu [°]:	28	28
Úhel azimutu [°]:	-90	90
Roční produkce FV energie [kWh]:	1844,89	1845,65
Roční rovinná sluneční radiace [kWh/m ²]:	1138,32	1142,44
Meziroční variabilita [kWh]:	81,33	65,9
Změny ve výstupu důvodu:		
Úhel dopadu [%] :	-3,81	-3,88
Spektrální efekty [%] :	1,38	1,39
Teplota a nízké ozáření [%] :	-9,21	-9,43
Celková ztráta [%]:	-26,33	-26,57

Data v tabulce 9 poukazují na roční produkci energie z FVE, což je 3690,54 kWh. Výsledek je součtem dvou hodnot roční produkce FV energie. Tyto výsledky jsou propočítány na základě vstupních informací jako u předešlých variant.



Obrázek 19. Grafy zobrazují produkci energie při orientaci východ + západ [22]

Z grafu na obrázku 19 lze vyčíst podobná data, jaká byla v grafu na obrázku 17 a 18. I zde patří červen a červenec k nejproduktivnějším měsícům. Listopad, prosinec a leden jsou nejméně produktivní, ale ze všech variant je tato nejbližší průměrné spotřebě rodinného domu.



Obrázek 20. Schéma zapojení [vlastní zdroj]

7.4 Pořizovací cena

Při rozhodování o instalaci fotovoltaické elektrárny na střechu rodinného domu hrají důležitou roli i finanční aspekty. Orientační ceny zahrnují průměrnou částku z internetových obchodů. V tabulkách 10, 11 a 12 nejsou zahrnuty veškeré prvky, které jsou zapotřebí pro správnou funkci FVE, ale jsou zde všechny hlavní části. K nejdražším částem FVE patří baterie pro uložení vyrobené energie, střídač a FV panely. Dalšími částmi, bez kterých by sestava nebyla kompletní, jsou konstrukce, kabely, chráničky, rozvaděče, doprava, montáž, projekt apod.

Tabulka 10. Orientační ceny – varianta východ [vlastní zdroj]

Položka	Cena [Kč]
Xtend Solarmi AS-7M144-HC-B-550 (7 ks)	23 800
SOFAR HYD 8KTL	47 000
SOFAR SOLAR GTX3000-H4	158 000
Kabely	26 000
Konstrukce	10 500
Práce, doprava, projekt	60 000
Dotace	-110 000
Celkem	215 300

Porovnáním všech tří variant bylo zjištěno, že nejvýhodnější nabídkou, z pohledu pořizovací ceny, by byla varianta na západ. Je to dáno tím, že u západní varianty je počet panelů 6 ks, kdežto u varianty na východ je jich 7 ks a u varianty východ + západ 8 ks panelů.

Tabulka 11. Orientační ceny – varianta západ [vlastní zdroj]

Položka	Cena [Kč]
Xtend Solarmi AS-7M144-HC-B-550 (6 ks)	20 400
SOFAR HYD 8KTL	47 000
SOFAR SOLAR GTX3000-H4	158 000
Kabely	24 000
Konstrukce	9 000
Práce, doprava, projekt	60 000
Dotace	-110 000
Celkem	208 400

Díky rovnoměrnému rozmístění FV panelů u varianty východ + západ, je vyšší pořizovací cena vykompenzována největším výkonem a tím pádem nejrychlejší návratností investice.

Tabulka 12. Orientační ceny – varianta východ + západ [vlastní zdroj]

Položka	Cena [Kč]
Xtend Solarmi AS-7M144-HC-B-550 (8 ks)	27 200
SOFAR HYD 8KTL	47 000
SOFAR SOLAR GTX3000-H4	158 000
Kabely	28 000
Konstrukce	12 000
Práce, doprava, projekt	60 000
Dotace	-110 000
Celkem	222 200

7.5 Návrh návratnosti

Tato část se zabývá finančním zhodnocením doby návratnosti investice do FVE. Mezi faktory ovlivňující návratnost a výnosnost investice do FVE jsou:

- náklady na pořízení, provoz a údržbu elektrárny
- stav cen elektrické energie
- výkonnost a životnost FV systému
- výše dotace
- přírodní vlivy

Pomocí programu PVGIS je určen průměrný teoretický výkon sestavy obou variant. Tyto hodnoty jsou zapsány v tabulkách 7, 8 a 9. Z faktury za dodávku energie byla vypočítána průměrná cena za 1 kW, a to 6,91 Kč. Vzhledem k trvalému růstu cen za energie (inlace apod.) bylo rozhodnuto, že cena za 1 kWh se bude u optimistické varianty navyšovat každých 10 let o 1 Kč, u realistické varianty každé 3 roky o 1 Kč a u pesimistické varianty každý rok o 1 Kč. Další společnou hodnotou pro výpočet je pokles účinnosti. Výrobce garantuje v prvním roce účinnost 97 %, a z toho důvodu začínají výpočty na této hodnotě. Postupný pokles účinnosti byl nastaven na 0,5 % za rok. Do výpočtu nejsou zahrnuty náklady na údržbu a provoz.

7.5.1 Návratnost varianty východ

Návratnost investice u optimistické varianty východ, při předpokládaném výkonu 3228,56 kWh za rok, by byla po 11 letech. Při provozování FVE po dobu 30 let a zohlednění úbytku účinnosti a dalších faktorů, by teoretický výnos činil 474 891,06 Kč. Celkem by tato varianta za dobu své životnosti teoreticky vyrobila výkon 86 928,98 kWh.

Tabulka 13. Návratnost varianty na východ - optimistická [vlastní zdroj]

Rok	Výkon [kWh]	Účinnost [%]	Výroba [kWh]	Cena za kW [Kč]	Roční výnos [Kč]	Zisk [Kč]
1	3 228,56	97	3 131,70	6,91	21 640,07	-193 659,93
2	3 228,56	96,5	3 115,56	6,91	21 528,52	-172 131,41
3	3 228,56	96	3 099,42	6,91	21 416,98	-150 714,43
4	3 228,56	95,5	3 083,27	6,91	21 305,43	-129 409,00
5	3 228,56	95	3 067,13	6,91	21 193,88	-108 215,12
6	3 228,56	94,5	3 050,99	6,91	21 082,34	-87 132,79
7	3 228,56	94	3 034,85	6,91	20 970,79	-66 162,00
8	3 228,56	93,5	3 018,70	6,91	20 859,24	-45 302,76
9	3 228,56	93	3 002,56	6,91	20 747,70	-24 555,06
10	3 228,56	92,5	2 986,42	7,91	23 622,57	-932,49
11	3 228,56	92	2 970,28	7,91	23 494,88	22 562,38
12	3 228,56	91,5	2 954,13	7,91	23 367,19	45 929,57
13	3 228,56	91	2 937,99	7,91	23 239,50	69 169,07
14	3 228,56	90,5	2 921,85	7,91	23 111,81	92 280,88
15	3 228,56	90	2 905,70	7,91	22 984,12	115 264,99
16	3 228,56	89,5	2 889,56	7,91	22 856,43	138 121,42
17	3 228,56	89	2 873,42	7,91	22 728,74	160 850,16
18	3 228,56	88,5	2 857,28	7,91	22 601,05	183 451,21
19	3 228,56	88	2 841,13	7,91	22 473,36	205 924,57

20	3 228,56	87,5	2 824,99	8,91	25 170,66	231 095,23
21	3 228,56	87	2 808,85	8,91	25 026,83	256 122,06
22	3 228,56	86,5	2 792,70	8,91	24 883,00	281 005,06
23	3 228,56	86	2 776,56	8,91	24 739,16	305 744,22
24	3 228,56	85,5	2 760,42	8,91	24 595,33	330 339,55
25	3 228,56	85	2 744,28	8,91	24 451,50	354 791,05
26	3 228,56	84,5	2 728,13	8,91	24 307,67	379 098,72
27	3 228,56	84	2 711,99	8,91	24 163,83	403 262,55
28	3 228,56	83,5	2 695,85	8,91	24 020,00	427 282,56
29	3 228,56	83	2 679,70	8,91	23 876,17	451 158,73
30	3 228,56	82,5	2 663,56	8,91	23 732,34	474 891,06
Celkem	96 856,80		86 928,98		690 191,06	474 891,06

U realistické varianty by byla návratnost investice po 9 letech. Teoretický výnos by činil 764 573,61 Kč. U této varianty bylo zvoleno navýšení cen energií o 1 Kč každé 3 roky.

Tabulka 14. Návratnost varianty na východ - realistická [vlastní zdroj]

Rok	Výkon [kWh]	Účinnost [%]	Výroba [kWh]	Cena za kW [Kč]	Roční výnos [Kč]	Zisk [Kč]
1	3 228,56	97	3 131,70	6,91	21 640,07	-193 659,93
2	3 228,56	96,5	3 115,56	6,91	21 528,52	-172 131,41
3	3 228,56	96	3 099,42	6,91	21 416,98	-150 714,43
4	3 228,56	95,5	3 083,27	7,91	24 388,70	-126 325,73
5	3 228,56	95	3 067,13	7,91	24 261,01	-102 064,72
6	3 228,56	94,5	3 050,99	7,91	24 133,32	-77 931,39
7	3 228,56	94	3 034,85	8,91	27 040,48	-50 890,91
8	3 228,56	93,5	3 018,70	8,91	26 896,65	-23 994,26
9	3 228,56	93	3 002,56	8,91	26 752,82	2 758,56
10	3 228,56	92,5	2 986,42	9,91	29 595,40	32 353,96
11	3 228,56	92	2 970,28	9,91	29 435,43	61 789,39
12	3 228,56	91,5	2 954,13	9,91	29 275,45	91 064,84
13	3 228,56	91	2 937,99	10,91	32 053,47	123 118,30
14	3 228,56	90,5	2 921,85	10,91	31 877,35	154 995,65
15	3 228,56	90	2 905,70	10,91	31 701,23	186 696,88
16	3 228,56	89,5	2 889,56	11,91	34 414,67	221 111,56
17	3 228,56	89	2 873,42	11,91	34 222,41	255 333,97
18	3 228,56	88,5	2 857,28	11,91	34 030,15	289 364,12
19	3 228,56	88	2 841,13	12,91	36 679,02	326 043,15
20	3 228,56	87,5	2 824,99	12,91	36 470,62	362 513,77
21	3 228,56	87	2 808,85	12,91	36 262,22	398 775,99
22	3 228,56	86,5	2 792,70	13,91	38 846,52	437 622,50
23	3 228,56	86	2 776,56	13,91	38 621,97	476 244,48

24	3 228,56	85,5	2 760,42	13,91	38 397,43	514 641,90
25	3 228,56	85	2 744,28	14,91	40 917,16	555 559,06
26	3 228,56	84,5	2 728,13	14,91	40 676,47	596 235,52
27	3 228,56	84	2 711,99	14,91	40 435,78	636 671,30
28	3 228,56	83,5	2 695,85	15,91	42 890,94	679 562,24
29	3 228,56	83	2 679,70	15,91	42 634,10	722 196,34
30	3 228,56	82,5	2 663,56	15,91	42 377,27	764 573,61
Celkem	96 856,80		86 928,98		979 873,61	764 573,61

Pesimistická varianta by měla návratnost investice po 8 letech z důvodu navýšení cen energií po jednom roce. Teoretický výnos by činil 1 609 568,48 Kč.

Tabulka 15. Návratnost varianty na východ - pesimistická [vlastní zdroj]

Rok	Výkon [kWh]	Účinnost [%]	Výroba [kWh]	Cena za kW [Kč]	Roční výnos [Kč]	Zisk [Kč]
1	3 228,56	97	3 131,70	6,91	21 640,07	-193 659,93
2	3 228,56	96,5	3 115,56	7,91	24 644,08	-169 015,85
3	3 228,56	96	3 099,42	8,91	27 615,81	-141 400,04
4	3 228,56	95,5	3 083,27	9,91	30 555,25	-110 844,78
5	3 228,56	95	3 067,13	10,91	33 462,41	-77 382,37
6	3 228,56	94,5	3 050,99	11,91	36 337,28	-41 045,09
7	3 228,56	94	3 034,85	12,91	39 179,87	-1 865,23
8	3 228,56	93,5	3 018,70	13,91	41 990,17	40 124,94
9	3 228,56	93	3 002,56	14,91	44 768,18	84 893,12
10	3 228,56	92,5	2 986,42	15,91	47 513,91	132 407,03
11	3 228,56	92	2 970,28	16,91	50 227,35	182 634,39
12	3 228,56	91,5	2 954,13	17,91	52 908,51	235 542,90
13	3 228,56	91	2 937,99	18,91	55 557,38	291 100,28
14	3 228,56	90,5	2 921,85	19,91	58 173,97	349 274,25
15	3 228,56	90	2 905,70	20,91	60 758,27	410 032,52
16	3 228,56	89,5	2 889,56	21,91	63 310,29	473 342,81
17	3 228,56	89	2 873,42	22,91	65 830,02	539 172,82
18	3 228,56	88,5	2 857,28	23,91	68 317,46	607 490,28
19	3 228,56	88	2 841,13	24,91	70 772,62	678 262,90
20	3 228,56	87,5	2 824,99	25,91	73 195,49	751 458,39
21	3 228,56	87	2 808,85	26,91	75 586,08	827 044,47
22	3 228,56	86,5	2 792,70	27,91	77 944,38	904 988,85
23	3 228,56	86	2 776,56	28,91	80 270,40	985 259,25
24	3 228,56	85,5	2 760,42	29,91	82 564,13	1 067 823,37
25	3 228,56	85	2 744,28	30,91	84 825,57	1 152 648,94
26	3 228,56	84,5	2 728,13	31,91	87 054,73	1 239 703,67
27	3 228,56	84	2 711,99	32,91	89 251,60	1 328 955,28

28	3 228,56	83,5	2 695,85	33,91	91 416,19	1 420 371,47
29	3 228,56	83	2 679,70	34,91	93 548,49	1 513 919,96
30	3 228,56	82,5	2 663,56	35,91	95 648,51	1 609 568,48
Celkem	96 856,80		86 928,98		1 824 868,48	1 609 568,48

7.5.2 Návratnost varianty západ

U optimistické varianty na západ by byla návratnost investice, při předpokládaném výkonu 2768,48 kWh za rok, po 12 letech. Při provozování FVE po dobu 30 let a zohlednění úbytku účinnosti a dalších faktorů by teoretický výnos činil 383 436,66 Kč. Celkem by tato varianta za dobu své životnosti teoreticky vyrobila výkon 74 541,32 kWh.

Tabulka 16. Návratnost varianty na západ - optimistická [vlastní zdroj]

Rok	Výkon [kWh]	Účinnost [%]	Výroba [kWh]	Cena za kW [Kč]	Roční výnos [Kč]	Zisk [Kč]
1	2 768,48	97	2 685,43	6,91	18 556,29	-189 843,71
2	2 768,48	96,5	2 671,58	6,91	18 460,64	-171 383,07
3	2 768,48	96	2 657,74	6,91	18 364,99	-153 018,08
4	2 768,48	95,5	2 643,90	6,91	18 269,34	-134 748,74
5	2 768,48	95	2 630,06	6,91	18 173,69	-116 575,06
6	2 768,48	94,5	2 616,21	6,91	18 078,04	-98 497,02
7	2 768,48	94	2 602,37	6,91	17 982,38	-80 514,63
8	2 768,48	93,5	2 588,53	6,91	17 886,73	-62 627,90
9	2 768,48	93	2 574,69	6,91	17 791,08	-44 836,82
10	2 768,48	92,5	2 560,84	7,91	20 256,28	-24 580,54
11	2 768,48	92	2 547,00	7,91	20 146,78	-4 433,76
12	2 768,48	91,5	2 533,16	7,91	20 037,29	15 603,53
13	2 768,48	91	2 519,32	7,91	19 927,80	35 531,33
14	2 768,48	90,5	2 505,47	7,91	19 818,30	55 349,63
15	2 768,48	90	2 491,63	7,91	19 708,81	75 058,44
16	2 768,48	89,5	2 477,79	7,91	19 599,32	94 657,75
17	2 768,48	89	2 463,95	7,91	19 489,82	114 147,58
18	2 768,48	88,5	2 450,10	7,91	19 380,33	133 527,91
19	2 768,48	88	2 436,26	7,91	19 270,84	152 798,74
20	2 768,48	87,5	2 422,42	8,91	21 583,76	174 382,50
21	2 768,48	87	2 408,58	8,91	21 460,43	195 842,93
22	2 768,48	86,5	2 394,74	8,91	21 337,09	217 180,02
23	2 768,48	86	2 380,89	8,91	21 213,75	238 393,77
24	2 768,48	85,5	2 367,05	8,91	21 090,42	259 484,19
25	2 768,48	85	2 353,21	8,91	20 967,08	280 451,28
26	2 768,48	84,5	2 339,37	8,91	20 843,75	301 295,02

27	2 768,48	84	2 325,52	8,91	20 720,41	322 015,44
28	2 768,48	83,5	2 311,68	8,91	20 597,08	342 612,51
29	2 768,48	83	2 297,84	8,91	20 473,74	363 086,25
30	2 768,48	82,5	2 284,00	8,91	20 350,40	383 436,66
Celkem	83 054,40		74 541,32		591 836,66	383 436,66

U realistické varianty by byla návratnost investice po 10 letech. Teoretický výnos by činil 631 838,52 Kč. U této varianty bylo zvoleno navýšení cen energií o 1 Kč každé 3 roky.

Tabulka 17. Návratnost varianty na západ - realistická [vlastní zdroj]

Rok	Výkon [kWh]	Účinnost [%]	Výroba [kWh]	Cena za kW [Kč]	Roční výnos [Kč]	Zisk [Kč]
1	2 768,48	97	2 685,43	6,91	18 556,29	-189 843,71
2	2 768,48	96,5	2 671,58	6,91	18 460,64	-171 383,07
3	2 768,48	96	2 657,74	6,91	18 364,99	-153 018,08
4	2 768,48	95,5	2 643,90	7,91	20 913,24	-132 104,84
5	2 768,48	95	2 630,06	7,91	20 803,74	-111 301,10
6	2 768,48	94,5	2 616,21	7,91	20 694,25	-90 606,85
7	2 768,48	94	2 602,37	8,91	23 187,13	-67 419,72
8	2 768,48	93,5	2 588,53	8,91	23 063,79	-44 355,93
9	2 768,48	93	2 574,69	8,91	22 940,46	-21 415,48
10	2 768,48	92,5	2 560,84	9,91	25 377,96	3 962,49
11	2 768,48	92	2 547,00	9,91	25 240,79	29 203,27
12	2 768,48	91,5	2 533,16	9,91	25 103,61	54 306,88
13	2 768,48	91	2 519,32	10,91	27 485,75	81 792,63
14	2 768,48	90,5	2 505,47	10,91	27 334,73	109 127,35
15	2 768,48	90	2 491,63	10,91	27 183,71	136 311,06
16	2 768,48	89,5	2 477,79	11,91	29 510,47	165 821,53
17	2 768,48	89	2 463,95	11,91	29 345,61	195 167,14
18	2 768,48	88,5	2 450,10	11,91	29 180,75	224 347,89
19	2 768,48	88	2 436,26	12,91	31 452,15	255 800,04
20	2 768,48	87,5	2 422,42	12,91	31 273,44	287 073,48
21	2 768,48	87	2 408,58	12,91	31 094,74	318 168,22
22	2 768,48	86,5	2 394,74	13,91	33 310,77	351 478,98
23	2 768,48	86	2 380,89	13,91	33 118,22	384 597,20
24	2 768,48	85,5	2 367,05	13,91	32 925,67	417 522,87
25	2 768,48	85	2 353,21	14,91	35 086,33	452 609,21
26	2 768,48	84,5	2 339,37	14,91	34 879,94	487 489,15
27	2 768,48	84	2 325,52	14,91	34 673,55	522 162,70
28	2 768,48	83,5	2 311,68	15,91	36 778,84	558 941,54
29	2 768,48	83	2 297,84	15,91	36 558,61	595 500,15
30	2 768,48	82,5	2 284,00	15,91	36 338,38	631 838,52
Celkem	83 054,40		74 541,32		840 238,52	631 838,52

Pesimistická varianta by měla návratnost investice po 8 letech z důvodu navýšení cen energií po jednom roce. Teoretický výnos by činil 1 356 418,95 Kč.

Tabulka 18. Návratnost varianty na západ - pesimistická [vlastní zdroj]

Rok	Výkon [kWh]	Účinnost [%]	Výroba [kWh]	Cena za kW [Kč]	Roční výnos [Kč]	Zisk [Kč]
1	2 768,48	97	2 685,43	6,91	18 556,29	-189 843,71
2	2 768,48	96,5	2 671,58	7,91	21 132,22	-168 711,49
3	2 768,48	96	2 657,74	8,91	23 680,47	-145 031,02
4	2 768,48	95,5	2 643,90	9,91	26 201,03	-118 829,98
5	2 768,48	95	2 630,06	10,91	28 693,91	-90 136,07
6	2 768,48	94,5	2 616,21	11,91	31 159,10	-58 976,97
7	2 768,48	94	2 602,37	12,91	33 596,61	-25 380,36
8	2 768,48	93,5	2 588,53	13,91	36 006,44	10 626,08
9	2 768,48	93	2 574,69	14,91	38 388,57	49 014,65
10	2 768,48	92,5	2 560,84	15,91	40 743,03	89 757,68
11	2 768,48	92	2 547,00	16,91	43 069,80	132 827,48
12	2 768,48	91,5	2 533,16	17,91	45 368,88	178 196,36
13	2 768,48	91	2 519,32	18,91	47 640,28	225 836,64
14	2 768,48	90,5	2 505,47	19,91	49 884,00	275 720,64
15	2 768,48	90	2 491,63	20,91	52 100,03	327 820,66
16	2 768,48	89,5	2 477,79	21,91	54 288,37	382 109,03
17	2 768,48	89	2 463,95	22,91	56 449,03	438 558,06
18	2 768,48	88,5	2 450,10	23,91	58 582,01	497 140,07
19	2 768,48	88	2 436,26	24,91	60 687,30	557 827,36
20	2 768,48	87,5	2 422,42	25,91	62 764,90	620 592,27
21	2 768,48	87	2 408,58	26,91	64 814,82	685 407,09
22	2 768,48	86,5	2 394,74	27,91	66 837,06	752 244,15
23	2 768,48	86	2 380,89	28,91	68 831,61	821 075,76
24	2 768,48	85,5	2 367,05	29,91	70 798,48	891 874,24
25	2 768,48	85	2 353,21	30,91	72 737,66	964 611,90
26	2 768,48	84,5	2 339,37	31,91	74 649,16	1 039 261,05
27	2 768,48	84	2 325,52	32,91	76 532,97	1 115 794,02
28	2 768,48	83,5	2 311,68	33,91	78 389,10	1 194 183,12
29	2 768,48	83	2 297,84	34,91	80 217,54	1 274 400,66
30	2 768,48	82,5	2 284,00	35,91	82 018,30	1 356 418,95
Celkem	83 054,40		74 541,32		1 564 818,95	1 356 418,95

7.5.3 Návratnost varianty východ + západ

Pro výpočet návratnosti byla použita data z tabulky 9, kde bylo na každou stranu počítáno se 4 panely. Sečtením roční produkce FV energie u obou variant by byla předpokládaná produkce energie s hodnotou 3690,54 kWh.

Návratnost investice u optimistické varianty východ + západ by byla po 10 letech. Při provozování FVE po dobu 30 let a zohlednění úbytku účinnosti a dalších faktorů by teoretický výnos činil 566 751,65 Kč. Celkem by tato varianta za dobu své životnosti teoreticky vyrobila výkon 99 367,79 kWh.

Tabulka 19. Návratnost varianty východ + západ - optimistická [vlastní zdroj]

Rok	Výkon [kWh]	Účinnost [%]	Výroba [kWh]	Cena za kW [Kč]	Roční výnos [Kč]	Zisk [Kč]
1	3 690,54	97	3 579,82	6,91	24 736,58	-197 463,42
2	3 690,54	96,5	3 561,37	6,91	24 609,07	-172 854,34
3	3 690,54	96	3 542,92	6,91	24 481,57	-148 372,78
4	3 690,54	95,5	3 524,47	6,91	24 354,06	-124 018,72
5	3 690,54	95	3 506,01	6,91	24 226,55	-99 792,17
6	3 690,54	94,5	3 487,56	6,91	24 099,04	-75 693,13
7	3 690,54	94	3 469,11	6,91	23 971,53	-51 721,59
8	3 690,54	93,5	3 450,65	6,91	23 844,03	-27 877,57
9	3 690,54	93	3 432,20	6,91	23 716,52	-4 161,05
10	3 690,54	92,5	3 413,75	7,91	27 002,76	22 841,71
11	3 690,54	92	3 395,30	7,91	26 856,80	49 698,50
12	3 690,54	91,5	3 376,84	7,91	26 710,84	76 409,34
13	3 690,54	91	3 358,39	7,91	26 564,88	102 974,22
14	3 690,54	90,5	3 339,94	7,91	26 418,92	129 393,13
15	3 690,54	90	3 321,49	7,91	26 272,95	155 666,09
16	3 690,54	89,5	3 303,03	7,91	26 126,99	181 793,08
17	3 690,54	89	3 284,58	7,91	25 981,03	207 774,11
18	3 690,54	88,5	3 266,13	7,91	25 835,07	233 609,18
19	3 690,54	88	3 247,68	7,91	25 689,11	259 298,30
20	3 690,54	87,5	3 229,22	8,91	28 772,37	288 070,67
21	3 690,54	87	3 210,77	8,91	28 607,96	316 678,63
22	3 690,54	86,5	3 192,32	8,91	28 443,55	345 122,17
23	3 690,54	86	3 173,86	8,91	28 279,13	373 401,30
24	3 690,54	85,5	3 155,41	8,91	28 114,72	401 516,02
25	3 690,54	85	3 136,96	8,91	27 950,30	429 466,33
26	3 690,54	84,5	3 118,51	8,91	27 785,89	457 252,22
27	3 690,54	84	3 100,05	8,91	27 621,48	484 873,70

28	3 690,54	83,5	3 081,60	8,91	27 457,06	512 330,76
29	3 690,54	83	3 063,15	8,91	27 292,65	539 623,41
30	3 690,54	82,5	3 044,70	8,91	27 128,24	566 751,65
Celkem	110 716,20		99 367,79		788 951,65	566 751,65

U realistické varianty by byla návratnost investice po 9 letech. Teoretický výnos by činil 897 885,35 Kč. U této varianty bylo zvoleno navýšení cen energií o 1 Kč každé 3 roky.

Tabulka 20. Návratnost varianty východ + západ - realistická [vlastní zdroj]

Rok	Výkon [kWh]	Účinnost [%]	Výroba [kWh]	Cena za kW [Kč]	Roční výnos [Kč]	Zisk [Kč]
1	3 690,54	97	3 579,82	6,91	24 736,58	-197 463,42
2	3 690,54	96,5	3 561,37	6,91	24 609,07	-172 854,34
3	3 690,54	96	3 542,92	6,91	24 481,57	-148 372,78
4	3 690,54	95,5	3 524,47	7,91	27 878,52	-120 494,25
5	3 690,54	95	3 506,01	7,91	27 732,56	-92 761,69
6	3 690,54	94,5	3 487,56	7,91	27 586,60	-65 175,09
7	3 690,54	94	3 469,11	8,91	30 909,75	-34 265,34
8	3 690,54	93,5	3 450,65	8,91	30 745,34	-3 520,00
9	3 690,54	93	3 432,20	8,91	30 580,92	27 060,92
10	3 690,54	92,5	3 413,75	9,91	33 830,26	60 891,17
11	3 690,54	92	3 395,30	9,91	33 647,39	94 538,57
12	3 690,54	91,5	3 376,84	9,91	33 464,53	128 003,09
13	3 690,54	91	3 358,39	10,91	36 640,05	164 643,14
14	3 690,54	90,5	3 339,94	10,91	36 438,73	201 081,87
15	3 690,54	90	3 321,49	10,91	36 237,41	237 319,28
16	3 690,54	89,5	3 303,03	11,91	39 339,13	276 658,41
17	3 690,54	89	3 284,58	11,91	39 119,35	315 777,77
18	3 690,54	88,5	3 266,13	11,91	38 899,58	354 677,35
19	3 690,54	88	3 247,68	12,91	41 927,49	396 604,84
20	3 690,54	87,5	3 229,22	12,91	41 689,26	438 294,10
21	3 690,54	87	3 210,77	12,91	41 451,04	479 745,14
22	3 690,54	86,5	3 192,32	13,91	44 405,13	524 150,27
23	3 690,54	86	3 173,86	13,91	44 148,45	568 298,72
24	3 690,54	85,5	3 155,41	13,91	43 891,78	612 190,50
25	3 690,54	85	3 136,96	14,91	46 772,06	658 962,56
26	3 690,54	84,5	3 118,51	14,91	46 496,93	705 459,49
27	3 690,54	84	3 100,05	14,91	46 221,80	751 681,28
28	3 690,54	83,5	3 081,60	15,91	49 028,27	800 709,56
29	3 690,54	83	3 063,15	15,91	48 734,69	849 444,24
30	3 690,54	82,5	3 044,70	15,91	48 441,11	897 885,35
Celkem	110 716,20		99 367,79		1 120 085,35	897 885,35

Pesimistická varianta by měla návratnost investice po 7 letech. Příčinou je navýšení cen energií po jednom roce. Teoretický výnos by činil 1 863 791,93 Kč.

Tabulka 21. Návratnost varianty východ + západ - pesimistická [vlastní zdroj]

Rok	Výkon [kWh]	Účinnost [%]	Výroba [kWh]	Cena za kW [Kč]	Roční výnos [Kč]	Zisk [Kč]
1	3 690,54	97	3 579,82	6,91	24 736,58	-197 463,42
2	3 690,54	96,5	3 561,37	7,91	28 170,45	-169 292,97
3	3 690,54	96	3 542,92	8,91	31 567,40	-137 725,57
4	3 690,54	95,5	3 524,47	9,91	34 927,46	-102 798,11
5	3 690,54	95	3 506,01	10,91	38 250,60	-64 547,51
6	3 690,54	94,5	3 487,56	11,91	41 536,84	-23 010,67
7	3 690,54	94	3 469,11	12,91	44 786,18	21 775,51
8	3 690,54	93,5	3 450,65	13,91	47 998,61	69 774,12
9	3 690,54	93	3 432,20	14,91	51 174,13	120 948,25
10	3 690,54	92,5	3 413,75	15,91	54 312,75	175 261,01
11	3 690,54	92	3 395,30	16,91	57 414,47	232 675,48
12	3 690,54	91,5	3 376,84	17,91	60 479,28	293 154,76
13	3 690,54	91	3 358,39	18,91	63 507,18	356 661,94
14	3 690,54	90,5	3 339,94	19,91	66 498,18	423 160,12
15	3 690,54	90	3 321,49	20,91	69 452,27	492 612,39
16	3 690,54	89,5	3 303,03	21,91	72 369,46	564 981,85
17	3 690,54	89	3 284,58	22,91	75 249,74	640 231,59
18	3 690,54	88,5	3 266,13	23,91	78 093,12	718 324,71
19	3 690,54	88	3 247,68	24,91	80 899,59	799 224,30
20	3 690,54	87,5	3 229,22	25,91	83 669,15	882 893,45
21	3 690,54	87	3 210,77	26,91	86 401,82	969 295,27
22	3 690,54	86,5	3 192,32	27,91	89 097,57	1 058 392,84
23	3 690,54	86	3 173,86	28,91	91 756,42	1 150 149,26
24	3 690,54	85,5	3 155,41	29,91	94 378,36	1 244 527,62
25	3 690,54	85	3 136,96	30,91	96 963,40	1 341 491,02
26	3 690,54	84,5	3 118,51	31,91	99 511,54	1 441 002,56
27	3 690,54	84	3 100,05	32,91	102 022,76	1 543 025,32
28	3 690,54	83,5	3 081,60	33,91	104 497,09	1 647 522,41
29	3 690,54	83	3 063,15	34,91	106 934,50	1 754 456,91
30	3 690,54	82,5	3 044,70	35,91	109 335,02	1 863 791,93
Celkem	110 716,20		99 367,79		2 085 991,93	1 863 791,93

7.6 Porovnání variant

Návrhy nám daly představu o tom, kolik fotovoltaických panelů můžeme na střechu domu umístit a jaký by takový systém generoval výkon. Je logické, že čím méně panelů instalu-

jeme, tím nižší bude pořizovací cena. Každá varianta má své výhody a nevýhody. Panely umístěné na východní stranu by produkovaly největší výkon v ranních hodinách, zatímco ve večerních hodinách by jejich produkce byla velmi nízká. Panely umístěné na západní stranu by to měly přesně naopak. Z toho důvodu byla zvolena třetí varianta, kde jsou panely rozmístěné rovnoměrně na východ i západ.

Nejrychlejší návratnost investice do FVE je u varianty východ + západ. O něco horší je doba návratnosti u varianty na východ a nejhůře na tom je varianta na západ. Nejvýhodnější varianta by byla nejdražší, kvůli 8 panelům. Tento rozdíl by byl vyvážen celkovou předpokládanou výnosností, která by byla vyšší v řádech statisíců. Díky tomu by byla zvolena varianta východ + západ, která by byla dostačující i na případný ohřev teplé vody elektrinou.

7.7 Bezpečnost

U FVE systému se jedná o bezpečnost proti požáru a ochranu před bleskem. Kabely spojující fotovoltaické panely musí být uloženy buď v plechových profilovaných lištách, nebo drátěných koších. Tyto varianty zajišťují maximální ochranu kabelů před mechanickým poškozením a vnějšími vlivy. Další možností jsou kabely klasifikace B2ca s1 d0. Tato speciální kabeláž je odolná proti ohni a šíření kouře, čímž splňuje požární požadavky. Rozvodná skříň FVE a střídače na napětí by měly být umístěny samostatně z důvodu rizika šíření požáru v případě poruchy v rozvodné skříni nebo u střídačů. Zabezpečení FVE proti blesku lze rozdělit na vnější a vnitřní ochranu.

Vnější ochrana:

- Hromosvod – funkční hromosvod odvede bleskový výboj do země. Měl by být navržen podle platných norem a směrnic.
- Uzemnění – všechny kovové komponenty FVE, včetně panelů, rámu a střídačů, musí být uzemněny k hromosvodu. Uzemnění zajišťuje, že se bleskový proud odvede do země a nepoškodí FVE.

Vnitřní ochrana:

- Přepětíová ochrana – v rozvodné skříni FVE by měly být instalovány přepětíové ochrany (SPD). SPD chrání elektronické komponenty FVE před poškozením způsobeným přepětím, které může vzniknout při úderu blesku v blízkosti FVE.

- Ochrana střídače – některé střídače FVE mají integrovanou přepět'ovou ochranu. Pokud váš střídač tuto ochranu nemá, je vhodné instalovat externí SPD.

7.8 Údržba

I když jsou panely fotovoltaické elektrárny odolné, je důležité je udržovat v čistotě. Pokud se na nich dlouhodobě usazují nečistoty, může to vést ke snížení jejich výkonu. Z tohoto důvodu se doporučuje provádět každé 1-2 roky vizuální kontrolu panelů, vedení a dalších komponentů systému. Kromě pravidelné kontroly a čištění panelů je důležité zohlednit i lokalitu FVE. Pokud se elektrárna nachází v blízkosti průmyslového provozu, například dřevovýroby, bude se na panelech usazovat více prachu a nečistot než v odlehlé vesnici. To bude mít vliv na frekvenci nutných kontrol a čištění. U bateriových úložišť je při kontrole důležité kontrolovat napětí jednotlivých článků, teplotu a vizuální stav. To nám napoví, zda jsou baterie v pořádku a zda se nerovnoměrně nevybíjejí. Baterie by neměly být přehřáté, protože by to mohlo vést ke zkrácení jejich životnosti. Vizuální kontrola baterií může odhalit, zda na bateriích nejsou žádné praskliny, poškození nebo koroze. Sklon střechy na rodinném domě je 28°, což zabezpečí, že sníh sklouzne po panelech dolů. Pravidelnou údržbou FVE lze docílit optimálního výkonu a prodloužení životnosti systému.

Při vizuální kontrole fotovoltaických panelů je důležité zkontrolovat spodní část kovového rámu, zda se na něm neusazují nečistoty. Pokud se vrstva nečistot nahromadí v tloušťce několika centimetrů a usadí se na okrajích rámu, může to vést k vážným problémům. Nečistoty se časem promění v "zaschlé bahno". Běžný déšť toto bahno smáčí a vytváří ideální prostředí pro růst mechu. Mech se postupně šíří a dostane se až pod ochranné sklo panelu. Pokud mech naroste dostatečně, může nadzvednout sklo o několik milimetrů a poškodit tak technologii uvnitř panelu. Poškození panelů může vést ke snížení jejich výkonu a zkrácení životnosti. V extrémních případech může mech způsobit i úplné selhání panelů.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout FVE pro rodinný dům. Při navrhování FVE je nutné zohlednit specifika lokality, která zahrnují členitost terénu, klimatické podmínky a vliv okolních objektů, jako jsou stromy a vysoké budovy. Všechny tyto faktory mohou ovlivnit efektivitu a celkovou funkčnost FVE.

Teoretická část práce se zabývá komplexní problematikou sluneční energie a fotovoltaických systémů. Pojednává o přenosu energie ze slunce k zemi a objasňuje princip fungování fotovoltaického článku a modulu. Díky komplexnímu přístupu a srozumitelnému výkladu slouží teoretická část práce jako ideální východisko pro studium a práci s FV systémy. Práce se dále věnuje klasifikaci a komponentům základních typů fotovoltaických systémů. Pojednává o tom, podle jakých kritérií se fotovoltaické systémy rozdělují a jaké komponenty musí obsahovat pro zajištění správné funkce.

V praktické části práce byly teoretické poznatky o fotovoltaických technologiích aplikovány na návrh fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům. Postup návrhu zahrnuje několik klíčových kroků, jako například analýzu lokality a objektu, porovnání a výběr technologií a komponentů. Pomocí simulačního softwaru PVGIS byl proveden podrobný návrh FVE a simulace jejího ročního energetického výnosu a byly simulovány tři varianty orientace panelů.

Závěrečná část práce se věnuje finanční analýze navržené fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům. Tato analýza zahrnuje kalkulace pro varianty návrhu FVE, s orientací panelů na východ, západ a východ + západ. Nejrychlejší návratnost investice by byla u varianty východ + západ. Jednalo by se o nejdražší variantu, ale výnos po 30 letech by byl v řádech statisíců vyšší než u ostatních variant.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. 2., dopl. vyd. Praha: Ilsa, 2010, 165 s. ISBN 9788090431157.
- [2] OTE. Statistika. [online] © 2018 [cit. 21.12.2023]. Dostupné z: Zbytkový energetický mix — Čeština (ote-cr.cz)
- [3] MURTINGER, Karel; BERANOVSKÝ, Jiří a TOMESŠ, Milan. *Fotovoltaika, elektřina ze slunce*. 21. století. Brno: ERA, 2007. ISBN 978-80-7366-100-7.
- [4] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Stavitel. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [5] Spektrum slunečního záření. In: pocasicz.cz [online]. 2.10.2015 [cit. 17.11.2023]. Dostupné z: https://www.pocasicz.cz/data/files/slunce_spektrum.jpg
- [6] Mapa slunečního záření. In: AZ/krytiny-strechy.cz [online]. © 2008 [cit. 21.12.2023]. Dostupné z: https://www.krytiny-strechy.cz/technicke_info-k-navrhovani-strech/mapy-slunecni-destova-namrazova-a-nejnizsich-teplot-v-cr/
- [7] Fotovoltaika pro rodinný dům – výhody a nevýhody, návratnost. In: energosolar.cz [online]. 2010 [cit. 22.12.2023]. Dostupné z: <https://www.djsarchitecture.cz/fotovoltaika-pro-rodinny-dum>
- [8] STANĚK, Kamil. *Fotovoltaika pro budovy*. Praha: Grada pro Katedru konstrukcí pozemních staveb Fakulty stavební Českého vysokého učení technického v Praze, 2012. ISBN isbn978-80-247-4278-6.
- [9] Aktuální vývoj fotovoltaiky v Česku. In: smartenergyforum.cz [online]. © 2023 [cit.21.12.2023]. Dostupné z: <https://www.smartenergyforum.cz/neprehlednete/aktualni-vyvoj-fotovoltaiky-v-cesku/>
- [10] Solární energie. In: cez.cz [online]. 2006 [cit. 28.11.2023]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/obr/k32-1.gif>
- [11] Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny. In: cne.cz [online]. 21.11.2023 [cit. 21.12.2023]. Dostupné z: <https://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [12] Komplexní průvodce různými typy solárních panelů. In: energosolar.cz [online]. 22.3.2023 [cit. 21.12.2023]. Dostupné z: <https://www.energosolar.cz/komplexni-pruvodce-ruzny-mi-typy-solarnich-panelu#:~:text=%C3%9A%C4%8Dinnost%20a>

%20v%C3%BDkon%20jednotliv%C3%BDch%20typ%C5%AF,%C3%BA%C4%8Dinnost%20mezi%2015%20a%2017%20%25.

- [13] Teorie Fotovoltaický článek. In: <http://remote-lab.fyzika.net/> [online]. © 2011 [cit. 21.12.2023]. Dostupné z: <http://remote-lab.fyzika.net/experiment/10/experiment-10-teorie.php?lng=cs>
- [14] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [15] Jak umístí na váš dům solární panely?. In: solarniexperti.cz [online]. 10.10.2023 [cit. 24.12.2023]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/jak-umistit-na-dum-solarni-panely/>
- [16] Možnosti připojení domácí elektrárny v roce 2016. In: oze.tzb-info.cz [online]. 2016 [cit. 27.12.2023]. Dostupné z URL: oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13918-moznosti-pripojeni-domaci-elektrarny-v-roce-2016
- [17] Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory – Rodinné domy (Standard). In: novazelenausporam.cz [online]. 26.9.2023 [cit. 27.12.2023]. Dostupné z URL: <https://novazelenausporam.cz/dokument/3381>
- [18] Solární panel DHM-T72X10/FS(BW) 550W. In: solar-market.cz [online]. © 2022 [cit. 6.4.2024]. Dostupné z: <https://www.solar-market.cz/p/solarni-panel-dhm-t72x10-fs-bw-550w>
- [19] Xtend Solarmi AS-7M144-HC-B-550. In: i4wifi.cz [online]. © 2024 [cit. 6.4.2024]. Dostupné z: <https://www.i4wifi.cz/cs/273603-xtend-solarmi-as-7m144-hc-b-550>
- [20] SOFAR HYD 8KTL. In: solarni-menice-napeti.heureka.cz [online]. © 2007–2024 [cit. 6.4.2024]. Dostupné z: https://solarni-menice-napeti.heureka.cz/sofar-solar-hybridni-hyd-8ctl-3ph/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw5cOwBhCiARIsAJ5njuYiEw7Wbxz1lxJFODv3Cjd1L4BVwIUnZiT8FczJrjXwhyYI5QmBME0aAhyuEALw_wcB#specifikace/
- [21] SOFAR SOLAR GTX3000-H4. In: flanely.com [online]. 2024 [cit. 6.4.2024]. Dostupné z: <https://www.fvepanely.com/bateriovy-modul-sofarsolar-gtx3000-h4/>
- [22] PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM [online]. © 2024 [cit.6.4.2024]. Dostupné z: <https://pvgis.com/#>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	Ampér
ČR	Česká republika
EVA	Etilenvinylacelát
FV	Fotovoltaické
FVE	Fotovoltaická elektrárna
Hz	Hertz
kA	kiloAmpér
Kč	Koruna česká
kWh	kilowatthodina
kW _p	kilowatt peak (maximální výkon)
LCD	Liquid-crystal display
LiFePo ₄	Lithium- železně-fosfátová baterie
LTO	Lithium Titanát
MPPT	Maximum Power Point Tracking
MW _p	Megawatt peak
Ni-Cd	nikl-kadmiová baterie
Ni-Fe	nikl-železná baterie
Ni-MH	nikl-metal hydridové baterie
NMC	Nikl-Mangan-Kobalt
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
RCBO	Residual Current Circuit Breaker with Overcurrent
SPD	Surge protection device
V	Volt

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Spektrum slunečního záření [5].....	13
Obrázek 2. Sluneční záření dopadající na území ČR [6]	14
Obrázek 3. Ostrovní systém [7]	15
Obrázek 4. Síťový systém [7]	16
Obrázek 5. Hybridní systém [7].....	16
Obrázek 6. Přechod P-N [10].....	18
Obrázek 7. Struktura FV panelu [11].....	19
Obrázek 8. Srovnání jednotlivých typů článků [13]	22
Obrázek 9. Umístění na šikmé střeše [15]	30
Obrázek 10. Umístění na ploché střeše [15]	31
Obrázek 11. Umístění na stěnách [15].....	31
Obrázek 12. Umístění na pozemku [15]	32
Obrázek 13. Východní pohled na objekt [vlastní zdroj].....	36
Obrázek 14. Půdorys a plocha střechy rodinného domu [vlastní zdroj].....	36
Obrázek 15. Střídač [20].....	39
Obrázek 16. Baterie [21].....	39
Obrázek 17. Graf zobrazuje produkci energie při orientaci na východ [22]	41
Obrázek 18. Graf zobrazuje produkci energie při orientaci na západ [22].....	43
Obrázek 19. Grafy zobrazují produkci energie při orientaci východ + západ [22]	44
Obrázek 20. Schéma zapojení [vlastní zdroj]	45

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Přehled podílů zdrojů energie v ČR [2]	11
Tabulka 2. Monokrystalické články – plusy a mínusy [12].....	21
Tabulka 3. Polykrystalické články – plusy a mínusy [12]	21
Tabulka 4. Amorfni články – plusy a mínusy [12]	22
Tabulka 5. Spotřeba a ceny v RD [vlastní zdroj].....	37
Tabulka 6. Srovnání FV panelů [vlastní zdroj].....	38
Tabulka 7. Výsledek simulace orientace na východ [22]	42
Tabulka 8. Výsledek simulace orientace na západ [22].....	43
Tabulka 9. Výsledek simulace orientace na východ + západ [22].....	44
Tabulka 10. Orientační ceny – varianta východ [vlastní zdroj].....	45
Tabulka 11. Orientační ceny – varianta západ [vlastní zdroj]	46
Tabulka 12. Orientační ceny – varianta východ + západ [vlastní zdroj]	46
Tabulka 13. Návratnost varianty na východ - optimistická [vlastní zdroj]	47
Tabulka 14. Návratnost varianty na východ - realistická [vlastní zdroj].....	48
Tabulka 15. Návratnost varianty na východ - pesimistická [vlastní zdroj]	49
Tabulka 16. Návratnost varianty na západ - optimistická [vlastní zdroj].....	50
Tabulka 17. Návratnost varianty na západ - realistická [vlastní zdroj]	51
Tabulka 18. Návratnost varianty na západ - pesimistická [vlastní zdroj].....	52
Tabulka 19. Návratnost varianty východ + západ - optimistická [vlastní zdroj].....	53
Tabulka 20. Návratnost varianty východ + západ - realistická [vlastní zdroj].....	54
Tabulka 21. Návratnost varianty východ + západ - pesimistická [vlastní zdroj]	55