

Bakalářská práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická

Fotovoltaická elektrárna v historickém objektu

Filip Kampas

Vedoucí práce: Mgr. Ing. Vít Klein, Ph.D.
2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kampas** Jméno: **Filip** Osobní číslo: **483599**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Fotovoltaická elektrárna v historickém objektu

Název bakalářské práce anglicky:

Photovoltaic power plant in a historic building

Pokyny pro vypracování:

- 1) Úvod do problematiky fotovoltaických elektráren.
- 2) Energetická charakteristika historického objektu.
- 3) Návrh fotovoltaické elektrárny.
- 4) Technicko - ekonomické zhodnocení a proveditelnost výstavby elektrárny.

Seznam doporučené literatury:

- 1) BROŽ, Karel. Vytápění. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-01-01313-8.
- 2) ČSN EN 12831-1 - Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3.
- 3) HASELHUHN, Ralf. Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. 1. české vydání Ostrava: HEL, 2011, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6.
- 4) MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMĚŠ. Fotovoltaika, elektřina ze slunce. Brno: ERA, 2007. 21. století. ISBN 978-80-7366-100-7.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D., katedra elektroenergetiky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **27.01.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **21.05.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2022**

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 21. 5. 2021

Filip Kampas

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Mgr. Ing. Vítu Kleinovi, Ph.D., za odborné vedení mé práce, za jeho čas, cenné poznámky a připomínky, a také za možnost častých osobních konzultací. Dále bych tímto chtěl vyjádřit poděkování panu Ing. Miroslavu Bezděkovi za poskytnutí projekčního softwaru a za jeho podnětné rady k dané problematice. V neposlední řadě bych také rád poděkoval své rodině a přátelům, kteří mě při vytváření této práce podpořili.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem fotovoltaické elektrárny na malý rodinný penzion. První část práce pojednává o obecných zákonitostech solární energie a způsobu jejího využívání fotovoltaickými systémy. Dále jsou nastíněny základní druhy fotovoltaických článků a v neposlední řadě jsou také rozebrány nejdůležitější komponenty fotovoltaické elektrárny. Druhá část práce se zaměřuje na energetické potřeby historického domu a na návrh vhodného fotovoltaického systému. Závěr práce obsahuje kompletní projekt fotovoltaické elektrárny a celkové ekonomické zhodnocení dané instalace.

Klíčová slova

Solární energie, fotovoltaická elektrárna, spotřeba elektrické energie, tepelné ztráty, návrh fotovoltaické elektrárny, ekonomické zhodnocení investice.

Abstract

This bachelor thesis deals with the design of a photovoltaic power plant for a small family pension. The first part deals with the general principles of solar energy and how it is used by photovoltaic systems. Furthermore, the basic types of photovoltaic cells are outlined and, the most important components of a photovoltaic power plant are also analyzed. The second part of the work focuses on the energy needs of the historic house and proposes design of a suitable photovoltaic system. Final part contains a complete project of a photovoltaic power plant and evaluates the overall economic performance of the installation.

Keywords

Solar energy, photovoltaic power plant, electricity consumption, heat losses, photovoltaic power plant design, economic evaluation of investment.

Obsah

1. ÚVOD.....	1
2. Sluneční energie	3
2.1. Vznik energie ve Slunci	3
2.2. Sluneční záření	4
2.3. Využití sluneční energie v České republice	5
3. Princip a typy fotovoltaických článků	7
3.1. Fotovoltaická přeměna	7
3.1.1. Fotovoltaický jev.....	7
3.1.2. Princip fotovoltaického článku	8
3.1.3. Elektrické vlastnosti fotovoltaických článků	11
3.2. Typy fotovoltaických článků.....	12
3.2.1. Monokrystalické křemíkové články	13
3.2.2. Polykrystalické křemíkové články	14
3.2.3. Tenkovrstvé články	14
4. Fotovoltaická elektrárna	17
4.1. Popis základních komponentů.....	17
4.1.1. Fotovoltaický modul	18
4.1.2. Střídač	19
4.2. Typy fotovoltaických systémů	20
4.2.1. Autonomní systémy (Grid off).....	20
4.2.2. Síťové systémy (Grid on).....	20
4.2.3. Hybridní systémy	21
5. Energetická charakteristika historického domu.....	23
5.1. Popis objektu	23
5.2. Spotřeba elektrické energie na provoz domu	24
5.3. Spotřeba elektrické energie v otopném období.....	27
5.3.1. Vstupní údaje potřebné k výpočtu tepelných ztrát	27
5.3.2. Výpočet tepelných ztrát.....	29
6. Návrh fotovoltaické elektrárny	33

6.1.	Analýza zastínění.....	34
6.2.	Technický návrh	36
6.3.	Legislativa upravující připojení fotovoltaických elektráren.....	40
7.	Ekonomické vyhodnocení projektu	41
7.1.	Investiční výdaje.....	42
7.2.	Ekonomická kritéria.....	43
8.	ZÁVĚR	47
9.	SEZNAM LITERATURY	49
10.	SEZNAM POUŽITÝCH PROGRAMŮ	55
11.	SEZNAM PŘÍLOH	57

Obrázky

Obrázek 2.1: Proton-protonový cyklus	3
Obrázek 2.2: Souvislost AM faktoru a výšky Slunce nad obzorem	5
Obrázek 2.3: Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR	6
Obrázek 3.1: Principiální schéma FV článku	9
Obrázek 3.2: Základní princip funkce fotoelektrického jevu	10
Obrázek 3.3: Část spektra slunečního záření využitelná křemíkovým FV článkem ...	10
Obrázek 3.4: Zatěžovací a výkonová charakteristika FV článku	11
Obrázek 3.5: 1. Monokrystalický, 2. Polykrystalický, 3. Tenkovrstvý (a-Si)	13
Obrázek 4.1: Obecné schéma FVE pracující paralelně s distribuční sítí	17
Obrázek 4.2: Konstrukce standardního rámovaného modulu	18
Obrázek 4.3: Vnitřní zapojení střídače s nízkofrekvenčním transformátorem	19
Obrázek 5.1: Historický dům	23
Obrázek 5.2: Půdorys přízemí	27
Obrázek 5.3: Řez A–A s materiálovým popisem konstrukcí	28
Obrázek 5.4: Nasimulovaná obálka domu	30
Obrázek 6.1: Principiální zapojení navrhované FVE	33
Obrázek 6.2: Pohyb Slunce po obloze	35

Tabulky

Tabulka 3.1: Průměrná účinnost FV modulů	15
Tabulka 5.1: Spotřeba elektrické energie pro měsíc srpen	25
Tabulka 5.2: Přehled celkového vyúčtování za spotřebu elektřiny	26
Tabulka 5.3: Základní tepelně – izolační parametry jednotlivých konstrukcí	28
Tabulka 5.4: Průměrné měsíční teploty	29
Tabulka 6.1: Technické parametry FV panelu	36
Tabulka 6.2: Technické parametry střídače	38
Tabulka 7.1: Vstupní parametry pro ekonomické zhodnocení FVE	41
Tabulka 7.2: Investiční výdaje na výstavbu FVE	42
Tabulka 7.3: Vyhodnocená ekonomická kritéria	44
Tabulka 7.4: Vstupní parametry pro ekonomické zhodnocení varianty s dotací	45
Tabulka 7.5: Vyhodnocená ekonomická kritéria	46

Grafy

Graf 3.1: Světové zastoupení FV modulů dle použité technologie	15
Graf 5.1: Procentuální úniky tepla jednotlivými konstrukcemi	30
Graf 5.2: Roční diagram zatížení	32
Graf 6.1: Porovnání průběhu spotřeby domu s průběhem vyrobené elektřiny z FVE ..	34
Graf 7.1: Porovnání výroby FVE s elektrickou spotřebou domu	41
Graf 7.2: Vývoj ročních hotovostních toků v průběhu životnosti FVE	44
Graf 7.3: Vývoj ročních hotovostních toků při započítání dotace	45

Seznam zkratek

AC	Střídavý
A–Si	Amorfní křemík
AM	Tloušťka atmosférického vzduchového sloupce („Air mass“)
CdTe	Telurid kadmia
CF	Peněžní tok („Cash flow“)
ČR	Česká republika
DC	Stejnoseměrný
DCF	Diskontovaný peněžní tok („Discounted cash flow“)
DPH	Daň z přidané hodnoty
DS	Distribuční síť
EU	Evropská unie („European Union“)
FF	Činitel plnění („Fill factor“)
FVE	Fotovoltaická elektrárna
FV	Fotovoltaický
IRR	Vnitřní výnosové procento („Internal rate of return“)
KDCF	Kumulovaný diskontovaný peněžní tok
MPP	Bod maximálního výkonu („Maximum power point“)
MPPT	Sledovač bodu maximálního výkonu („Maximum power point tracker“)
NPV	Čistá současná hodnota („Net present value“)
NT	Nízký tarif
PVGIS	Fotovoltaický geografický informační systém
SRN	Spolková republika Německo
TV	Teplá voda
V–A	Voltampérová
VT	Vysoký tarif
Wp	Špičkový výkon („Watt – peak“)

1. ÚVOD

Sluneční energie se stala nedílnou součástí nynějších energetických soustav a má zásadní vliv při dosahování dlouhodobých cílů energetické unie, které směřují zejména k dekarbonizaci celé energetiky. Z návrhu nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. ř. 2020/0036/COD ze dne 04.03.2020, *kterým se stanoví rámec pro dosažení klimatické neutrality a mění nařízení (EU) 2018/1999 o správě energetické unie*, vychází zpřísnění evropského cíle pro rok 2030 v oblasti snížení emisí skleníkových plynů ze současných 40 % na 55 % oproti roku 1990. Kromě cíle pro rok 2030 návrh také počítá s dosažením klimatické neutrality celé Evropské unie do roku 2050. Zástupci členských států Evropské unie a Evropského parlamentu se 21.04.2021 shodli na parametrech tohoto takzvaného klimatického zákona. Znamená to tedy, že jestliže tento návrh schválí plénum europarlamentu a ministři členských států, budou tyto cíle brány jako právní závazky celé Evropské unie. Budoucí podoba energetického sektoru je tedy plně vázána na tuto světovou politiku a je zřejmé, že solární energie v ní bude mít důležité postavení.

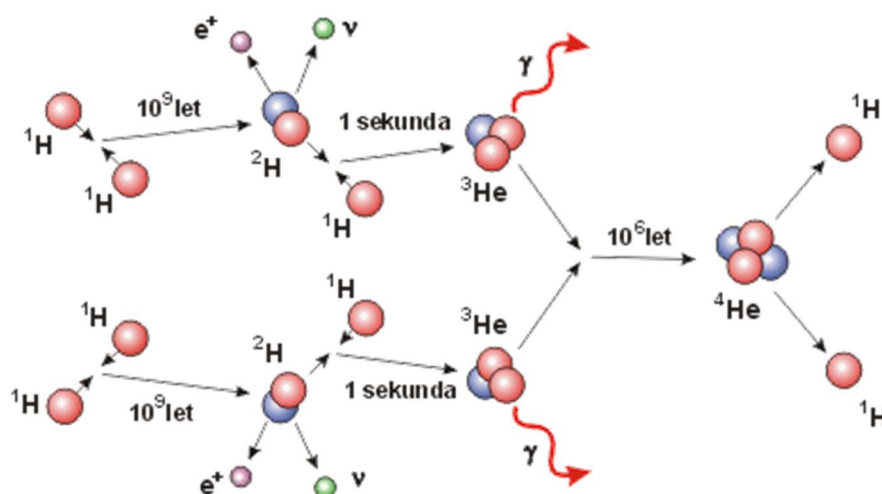
Teoretická část této bakalářské práce si klade za cíl ukázat ucelený pohled na celý koncept fotovoltaiky a nastínit základní problematiku fotovoltaických elektráren. Hlavním cílem práce je navrhnout vhodný fotovoltaický systém pro malý rodinný penzion, u kterého se uvažuje o rozšíření stávajícího provozu. Její praktická část se tedy bude nejprve zabývat určením celkových energetických potřeb domu. Následný návrh fotovoltaického systému bude proveden v souladu s normativními požadavky kladenými na instalace s fotovoltaickým zdrojem, a bude zahrnovat kompletní výběr všech nutných komponentů pro výstavbu fotovoltaické elektrárny. Po samotném technickém návrhu bude provedeno ekonomické vyhodnocení, při kterém budou použita základní ekonomická kritéria, za pomoci kterých se zhodnotí návratnost dané investice.

2. Sluneční energie

Zdrojem této formy energie je naše nejbližší hvězda Slunce, která každou sekundu vyzáří do svého okolí energii $3,8 \times 10^{26}$ J. Z této celkové energie se na povrch země dostane pouze jedna dvou miliardtina ¹. Avšak i tento malý zlomek je postačující na to, aby několikanásobně pokryl celou energetickou potřebu lidstva. Teoreticky je tedy nabídka ze Slunce více než dostačující. Z tohoto důvodu je v dnešním světě snaha o co největší využitování této energie a rozšiřování technologického výzkumu v tomto odvětví. Z hlediska délky lidského života lze pokládat Slunce za obnovitelný zdroj energie, který nevytváří žádné nežádoucí emise.

2.1. Vznik energie ve Slunci

Proces, při kterém vzniká energie ve Slunci, se nazývá termojaderná fúze. Tato jaderná syntéza se uskutečňuje v jádru Slunce, kde dochází k slučování jader vodíku ^1H do jader hélia ^4He za pomoci vysokého tlaku a teploty. Jedná se o tzv. proton-protonový řetězec ², který je znázorněn na následujícím obrázku.



Obrázek 2.1: Proton-protonový cyklus ³

¹ JOSIP, KLECZEK. *Sluneční energie na Zemi* [online]. Astronomický ústav AV ČR Ondřejov, 2003 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/1312-povidani-o-energii-slunecni-energie-na-zemi>

² ČERVENKA, Milan. *Energie ze Slunce*. Aldebaran [online]. Praha: AGA (Aldebaran Group for Astrophysics), 2004 [cit. 2020-12-16]. Dostupné z: https://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_22_sun.php

³ ČERVENKA, pozn. 2

Volné nukleony jsou těžší než samotné jádro z nich vytvořené, a proto vzniklé jádro hélia vykazuje hmotnostní úbytek vůči vstupujícím protonům vodíku. Vznikem jednoho atomu hélia ze čtyř atomů vodíku se musí tedy dle známého Einsteinova vztahu $E = m \times c^2$ uvolnit energie o hodnotě 26,2 MeV⁴. Uvolněná energie je převážně odnášena prostřednictvím elektromagnetického záření. Ve vzdálenosti 150 000 000 km od Země se tedy nachází dokonale řízený termojaderný reaktor, ve kterém se každou sekundu uvolní energie 4×10^{26} J přeměnou $6,4 \times 10^{11}$ kg vodíku na hélium.

2.2. Sluneční záření

Sluneční záření má charakter elektromagnetického vlnění s různými vlnovými délkami, které před vstupem do zemské atmosféry přibližně odpovídají vlnovým délkám vyzařovaným dokonale černým tělesem o povrchové teplotě 5 800 K. Teoreticky by mělo na 1 m² zemské atmosféry dopadat každou sekundu 1,4 kW zářivého výkonu. Nicméně na zemský povrch takový výkon nedopadne, jelikož v atmosféře dochází na molekulách plynů a aerosolů k absorpci a rozptylu slunečního záření. Průměrně se tedy přes atmosféru dostane jen polovina slunečního záření. Na zemském povrchu se poté přibližně třetina odrazí zpět a zbylé dvě třetiny se přemění na teplo, respektive na infračervené záření.⁵

Sluneční záření, které projde atmosférou, se dělí z hlediska směrovosti na přímou a difúzní složku. Jejich součet udává celkové globální záření, které zahrnuje vlnové délky přicházející ze všech směrů. Energetický potenciál difúzního záření je ale oproti přímému světlu výrazně menší.

V případě bezmračné oblohy je možno vyjádřit intenzitu přímého dopadajícího záření pomocí koeficientu AM „Air mass“. Tento koeficient zohledňuje množství vzduchu ležící v cestě slunečním paprskům a je definován jako:⁶

$$AM = \frac{1}{\sin \gamma} \quad [-] \quad 2.1$$

kde:

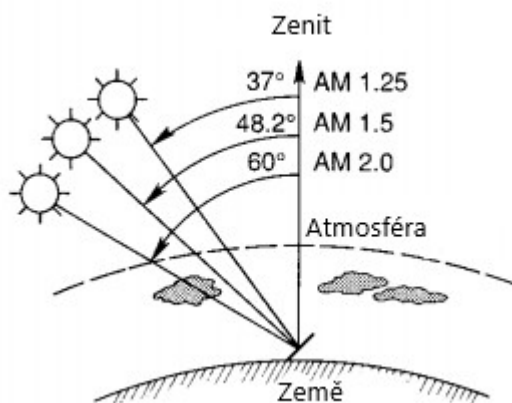
γ ...výška Slunce nad obzorem [°]

⁴ ČERVENKA, pozn. 2

⁵ MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMESŠ. *Fotovoltaika, elektřina ze slunce*. Brno: ERA, 2007. 21. století. s. 2. ISBN 978-80-7366-100-7.

⁶ RIDA, KS. *The impact of air mass on photovoltaic panel performance*. Scientific and Engineering Research [online]. USA, 2016 [cit. 2021-03-11]. s. 2. Dostupné z: doi:10.18282/ser.v1.i1.41

Intenzita záření dopadající na povrch Země dosahuje nejvyšší možné hodnoty, pokud je AM faktor roven jedné. Pro modelování a testování solárních modulů se běžně užívá $AM = 1,5$, což odpovídá úhlu dopadu slunečních paprsků $48,2^\circ$ ⁷. Jelikož v ranních a večerních hodinách je malá výška Slunce nad obzorem, je nutné počítat s menším využitelným výkonem.



Obrázek 2.2: Souvislost AM faktoru a výšky Slunce nad obzorem⁸

Výsledný vliv atmosféry nezávisí pouze na tomto faktoru. Mezi další aspekty ovlivňující dopad zářivé energie na Zemi jsou nadmořská výška, míra znečištění atmosféry a v neposlední řadě i oblačnost. V oblastech se silnou mírou znečištění atmosféry je nutné počítat s přibližně 10% poklesem globálního záření. Naopak je tomu v oblastech s vyšší nadmořskou výškou, kde lze počítat s nárůstem globálního záření. Je tedy zřejmé, že výkon solárních modulů závisí na stavu atmosféry a na pohybu Slunce po obloze.⁹

2.3. Využití sluneční energie v České republice

Jestliže má být sluneční záření využito k výrobě elektrické energie, musí se nejprve zvážit energetický potenciál dané lokality. Česká republika (ČR) se nachází v mírném podnebném pásu, který disponuje průměrnými slunečními podmínkami. Roční úhrn

⁷ RIDA et al, pozn. 6, s. 1

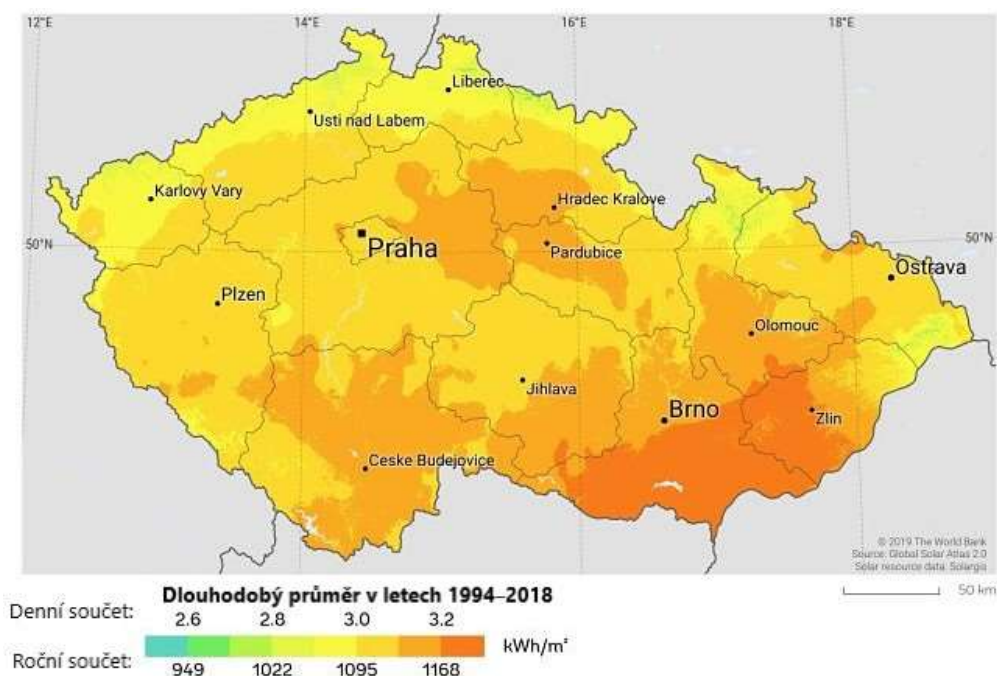
⁸ RIORDAN, C a R HULSTROM. *What is an air mass 1.5 spectrum*. IEEE Conference on Photovoltaic Specialists [online]. USA, 1990 [cit. 2021-03-11]. s. 1086. Dostupné z: doi:10.1109/PVSC.1990.111784

⁹ LIMBERK, Ondřej. *Solární energetika v České republice* [online]. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE [cit. 2020-12-23]. s. 1. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/10-limberk.pdf>

SLUNEČNÍ ENERGIE

slunečního svitu se v ČR pohybuje od 1 350 do 1 800 hodin. Na skladbě spektra dopadajícího záření se podílí obě složky (difuzní a přímá) přibližně rovnocenně.¹⁰

Využití sluneční energie vystihuje mapa globálního slunečního záření, která vychází z dlouhodobých meteorologických měření. Poskytuje údaj o roční solární energii dopadající na vodorovný povrch Země. V podmínkách ČR je hodnota dopadající energie na 1 m² zhruba 950–1 340 kWh za rok. Přibližně dvě třetiny této energie se získá v letním období, kdy může denní hodnota dosahovat až 7 kWh na m². Z mapy slunečního osvitu pro ČR je vidět, že nejvíce slunečního záření dopadá na jižní Moravě, a naopak nejméně slunečního záření dopadá v horách, kde bývá vyšší koncentrace oblačnosti.¹¹



Obrázek 2.3: Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR¹²

Údaj o ročním dopadu globálního slunečního záření je velmi důležitý pro výpočet budoucího energetického přínosu fotovoltaických (FV) panelů. Z průměrné roční solární energie vyjde při započítání účinnosti FV panelu, že z 1 m² lze získat asi 100 až 200 kWh elektrické energie za rok. Z toho tedy vyplývá, že na výrobu 1 000 kWh·rok⁻¹ se musí průměrně pokrýt 7 m² plochy.

¹⁰ MURTINGER et al., pozn. 5, s. 4

¹¹ LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Solární energie: fotovoltaika – perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti*. V Praze: ČZU, 2005. s. 9–10. ISBN 80-213-1335-8.

¹² THE WORLD BANK GROUP. *Global solar atlas* [online]. 2021 [cit. 2021-01-14]. Dostupné z: <https://globalsolaratlas.info>

3. Princip a typy fotovoltaických článků

3.1. Fotovoltaická přeměna

Sluneční energii lze převést na elektrickou buď přímo, tedy pomocí solárních článků, nebo nepřímo s využitím tepelné energie. Při nepřímé metodě se využívá parabolických zrcadel, které soustřeďují paprsky do ohniska tepelných solárních elektráren. Přímá metoda je oproti tomu založena na principu FV jevu a je využívána u klasických fotovoltaických elektráren (FVE).

3.1.1. Fotovoltaický jev

V dnešní době je již známo, že elektromagnetické záření se chová jako vlna, která nese kvantové množství energie. Sluneční záření lze tedy popsat jako vlnu, ale zároveň i jako proud částic. Tyto částice nazýváme fotony a jejich energie je dána Planckovou konstantou vynásobenou frekvencí záření. Při dopadu fotonu na látku předá foton svoji energii elektronu. Tato energie se spotřebuje na uvolnění elektronu z krystalické mřížky a na kinetickou energii elektronu. Tento děj popisuje Einsteinova rovnice fotovoltaického jevu:

$$E_f = W_v + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad [\text{J}] \quad 3.1$$

kde:

E_f ...energie fotonu [J]

W_v ...výstupní práce vynaložená na uvolnění elektronu [J]

m ...hmotnost elektronu [kg]

v ...rychlost elektronu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

Aby k tomuto ději vůbec došlo, musí být frekvence dopadajícího záření větší než tzv. mezní frekvence f_0 . Tato podmínka je dána tím, že energie dodaná fotonem musí být větší než výstupní práce vynaložená na uvolnění elektronu. Hodnota f_0 tedy závisí na druhu materiálu.¹³

¹³ DIEZEL, Chris. *The Effect of Wavelength on Photovoltaic Cells* [online]. Sciencing, 2020 [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://sciencing.com/effect-wavelength-photovoltaic-cells-6957.html>

Obecně se rozlišují dva typy FV jevů. U kovů jde o vnější FV jev, při kterém uvolněné elektrony opouštějí povrch materiálu. Oproti tomu u polovodičů dochází pouze k uvolnění elektronů z elektronového obalu. Tyto elektrony zůstávají uvnitř materiálu a pouze zvyšují jeho vodivost. Jedná se tedy o vnitřní fotoefekt. Elektrony vylétávající z povrchu lze těžko využívat v elektrickém obvodu, a proto se fotovoltaika zabývá především polovodiči.

3.1.2. Princip fotovoltaického článku

Pro přeměnu energie elektromagnetického záření se nejčastěji využívají FV články na bázi krystalického křemíku. Čistý krystal křemíku je považován za vlastní polovodič, který nedisponuje žádnými volnými elektrony. Volné nosiče náboje jsou generovány až při působení vnější energie (teplem nebo třeba dopadem slunečního záření). Proto při pokojové teplotě už některé elektrony dosáhnou potřebné energie na to, aby se mohly uvolnit z vazby a dostaly se tak do vodivostního pásu. V místě uvolnění elektronu vzniká kladná díra a elektrická neutralita krystalu je zachována. Nicméně vodivost je při takto nízkých teplotách minimální, a proto se musí křemík doplňovat o různé příměsi.¹⁴

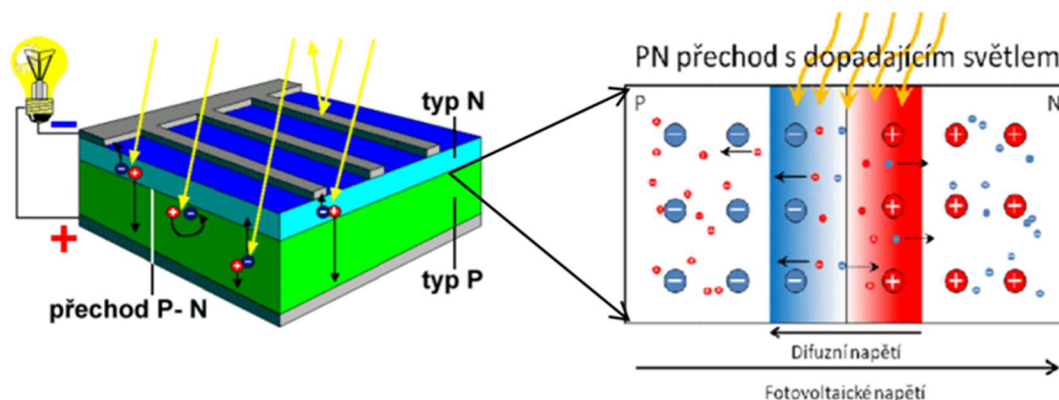
Příměsové polovodiče jsou nazývány nevlastními a dělí se podle dotovaného typu na N a P. Polovodič typu N vznikne přidáním prvku, který ve své valenční sféře obsahuje pět elektronů. V kovalentní vazbě s čtyřmocným křemíkem se uplatní pouze čtyři elektrony. Při dodání velmi malé energie dojde tedy k přechodu nadbytečných elektronů do vodivostního pásu a křemík se stává více vodivý. Analogicky přidáním prvku s třemi elektrony vznikne polovodič typu P s nadbytečnými kladnými dírami. Pro polovodič typu N se jako dopant nejčastěji používá fosfor a u polovodiče typu P to zpravidla bývá bor.

Spojením těchto dvou typů polovodičů se vytvoří struktura nazývaná PN přechod. Jelikož v polovodiči typu N je koncentrace elektronů o několik řádů vyšší než koncentrace děr, dojde ihned po spojení k difúzi, tj. přechod volných nosičů¹⁵. Elektrony z polovodiče N „zapadají“ do děr v polovodiči P a dochází k tzv. rekombinaci. V okolí

¹⁴ MURTINGER et al., pozn. 5, s. 13

¹⁵ MORAVEC, Jan. *Polovodiče: Základy polovodičové techniky*. O energetice [online]. 2016 [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/polovodice-zaklady-polovodicove-techniky>

PN přechodu vzniká oblast s malým počtem volných nosičů. V oblasti u P vrstvy vznikají anionty, a naopak v oblasti N vrstvy vznikají kationty. Tím vzniká elektrické pole, které směřuje proti pohybu volných nosičů náboje. Toto difuzní napětí zabraňuje dalšímu přechodu elektronů. Tato vlastnost PN přechodu hraje zásadní roli ve funkci FV článků. Lze říct, že nejjednodušší FV článek je velkoplošný PN přechod.



Obrázek 3.1: Principiální schéma FV článku ¹⁶

Při dopadu slunečního záření dochází v PN přechodu ke generování párů elektron–díra. Aby se zabránilo okamžité rekombinaci těchto nábojů, musí se od sebe vzniklé dvojice separovat. Kdyby se tak neučinilo, energie by se uvolnila jako nevyužité teplo. Toto oddělení je učiněno elektrickým polem PN přechodu. Uvolněné elektrony putují do vrstvy typu N a díry se shromažďují do vrstvy P. Po uzavření elektrického obvodu začne PN přechodem protékat proud a energie slunečního záření je využita připojeným spotřebičem. ¹⁷

Úspěšnost fotovoltaické přeměny závisí na těchto následujících podmínkách: ¹⁸

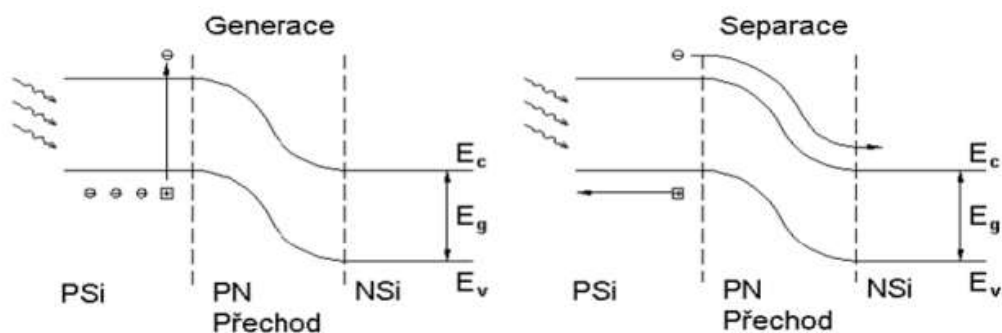
- 1) materiál solárního článku musí co nejlépe pohlcovat elektromagnetické záření,
- 2) elektron musí být excitován do vyššího vodivostního pásu,
- 3) je nutné zabránit okamžité rekombinace volných elektronů a děr,
- 4) separované náboje je třeba uzavřít přes spotřebič.

¹⁶ FEKT VUT v Brně. *Studijní materiály* [online]. Brno, 2016 [cit. 2021-01-14]. s. 6. Dostupné z: https://www.fekt.vut.cz/merkur/podklady/2016_Zavod_se_sluncem.pdf

¹⁷ MURTINGER et al., pozn. 5, s. 14–15

¹⁸ MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK, a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. s. 63. ISBN 978-80-01-04937-2

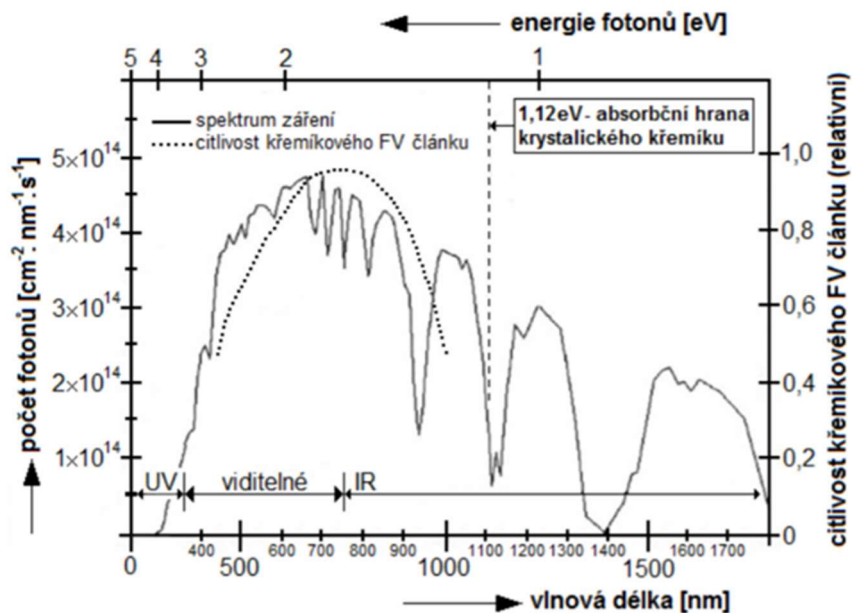
PRINCIP A TYPY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ



E_c –energie vodivostního pásu, E_g –energie zakázaného pásu, E_v –energie valenčního pásu

Obrázek 3.2: Základní princip funkce fotoelektrického jevu ¹⁹

Excitace elektronu do vodivostního pásu je podmíněná dodáním energie větší, než je šířka zakázaného pásu křemíku $\Delta E_g = 1,1 \text{ eV}$. Tuto podmínku splňuje viditelné a blízké infračervené záření s vlnovými délkami kratšími než 1100 nm . Nicméně ani energie tohoto krátkovlnného záření není zcela využita. Dopadající foton může uvolnit maximálně jeden elektron a přebytečná energii je vyzářena jako teplo. Je tedy zřejmé, že FV články nejsou schopné využít energii celého spektra slunečního záření a nelze s nimi principiálně dosáhnout účinnosti větší než 55% . ²⁰



Obrázek 3.3: Část spektra slunečního záření využitelná křemíkovým FV článkem ²¹

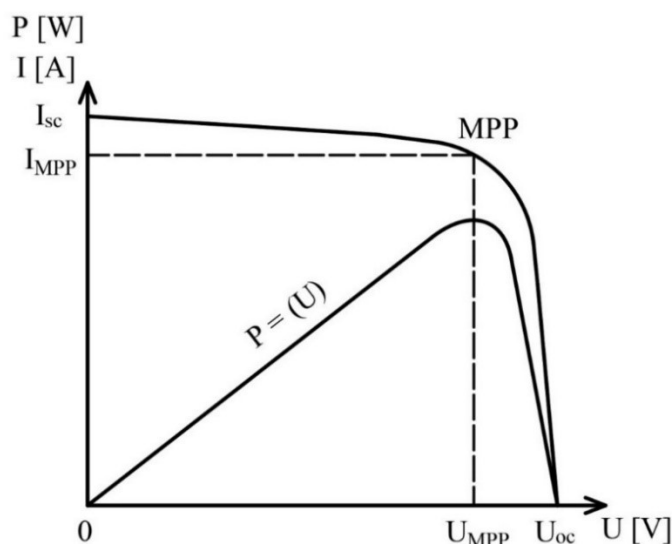
¹⁹ MASTNÝ et al., pozn. 19, s. 63

²⁰ MURTINGER et al., pozn. 5, s. 15

²¹ LIBRA, pozn. 11, s. 47

3.1.3. Elektrické vlastnosti fotovoltaických článků

Základní elektrické vlastnosti FV článku nejlépe vystihuje voltampérová (V–A) charakteristika. Jejími významnými body jsou napětí naprázdno U_{OC} a proud nakrátko I_{SC} . Napětí naprázdno představuje napětí při nezátíženém článku (maximální odpor zátěže). Naopak proud nakrátko představuje proud při zkratovaném výstupu článku (nulový odpor zátěže). Pracovní bod tedy závisí na velikosti zatížení.



Obrázek 3.4: Zatěžovací a výkonová charakteristika FV článku ²²

Výkon určitého FV článku závisí na slunečním spektru a na teplotě. Z V–A charakteristiky je zřejmé, že pro každý FV článek existuje pouze jedna poloha pracovního bodu, ve kterém je jeho výkon největší. Tento bod je označován jako bod maximálního výkonu (MPP) a je určen jako součin napětí U_{mpp} a proudu I_{mpp} . V praxi je tento pracovní bod udržován měniči, které v každém okamžiku optimálně zatěžují FV článek.

Dalšími významnými parametry jsou činitel plnění (FF) a účinnost η . Činitel plnění je dán jako podíl maximálního dosažitelného výkonu ku maximálnímu potenciálnímu výkonu. Jedná se o poměrný ukazatel, který udává to, jak dobrý zdroj proudu článek je. Obvyklá hodnota pro křemíkové články bývá kolem 0,8. ²³

$$FF = \frac{U_{mpp} \cdot I_{mpp}}{U_{oc} \cdot I_{sc}} \quad [-] \quad 3.2$$

kde:

U_{mpp} ...napětí při maximálním výkonu [V]

²² Vytvořeno autorem. Zdroj: MASTNÝ et al., pozn. 19, s. 66

²³ MASTNÝ et al., pozn. 19, s. 66

I_{mpp} ... proud při maximálním výkonu [A]

U_{OC} ... napětí naprázdno [V]

I_{SC} ... proud nakrátko [A]

Účinnost FV článku je rovna maximálnímu dosažitelnému výkonu ku výkonu dodanému slunečním zářením. Je tedy zřejmé, že zvyšováním účinnosti se při konstantní intenzitě záření dosahuje větších hodnot proudu.

$$\eta = \frac{U_{mpp} \cdot I_{mpp}}{P_{IN}} \cdot 100 \quad [\%] \quad 3.3$$

kde:

P_{IN} ... výkon dodaný slunečním zářením [W]

U_{mpp} ... napětí při maximálním výkonu [V]

I_{mpp} ... proud při maximálním výkonu [A]

Výše uvedené parametry jsou definovány za tzv. standardních testovacích podmínek²⁴. Tedy při intenzitě slunečního záření $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, tloušťce vzduchového sloupce $AM = 1,5$ a teplotě PN přechodu $25\text{ }^\circ\text{C}$.

Samotný průběh V–A charakteristiky je závislý na intenzitě slunečního záření a na teplotě. Se zvyšující se intenzitou osvětlení se charakteristika dostává k větším hodnotám proudu a maximální výkon dodávaný článkem se zvýší. Naopak vlivem zvýšené teploty poklesne charakteristika k nižším hodnotám napětí a dojde k poklesu dodávaného výkonu. Při nárůstu teploty o $1\text{ }^\circ\text{C}$ bývá pokles výkonu kolem $0,4\%$.²⁵

3.2. Typy fotovoltaických článků

Fotovoltaický článek je základní funkční prvek solárního modulu. Nejčastěji se skládá z polovodičového materiálu, kovových kontaktů a z tenké antireflexní vrstvy. Solární články se dají vyrábět z mnoha různých materiálů. Nicméně kvůli osvědčenému zpracování se na dnešním trhu nejvíce využívá křemíku.

Křemík se v přírodě vyskytuje ve formě křemene neboli oxidu křemičitého (SiO_2). K získání čistého křemíku je zapotřebí nejprve křemenný písek roztavit na surový

²⁴ HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. s. 47. ISBN 978-80-86167-33-6

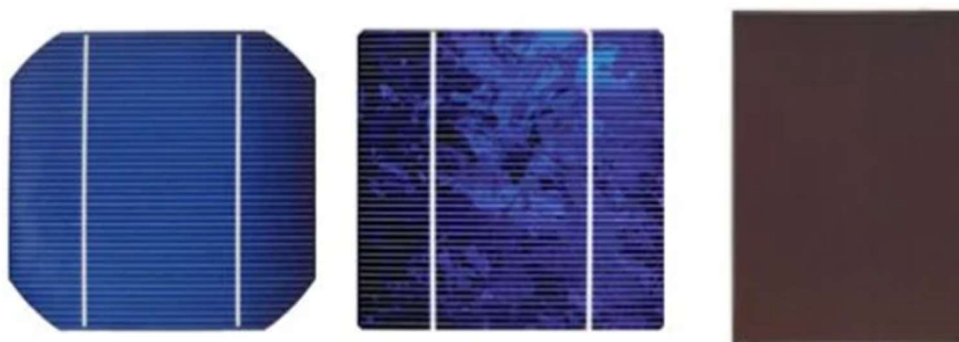
²⁵ MASTNÝ et al., pozn. 19, s. 67

křemen a ten následně vyčistit v chemických procesech. Technologie výroby je velmi dobře propracovaná a vytvořený křemík dosahuje téměř 100% čistoty ²⁶. Takto vytvořený křemík lze různými způsoby zpracovat na monokrystalické nebo polykrystalické FV články.

3.2.1. Monokrystalické křemíkové články

Na trhu se tento typ vyskytuje již od sedmdesátých let 20. století a je typický tím, že je materiál článku složen z jediného krystalu. Články mohou mít různé tvary, ale díky větší využitelnosti plochy se nejčastěji vyrábí ve čtvercovém provedení. Vlivem jednolitě struktury krystalu je povrch článků homogenně tmavomodrý až černý.

K výrobě monokrystalů se zpravidla používá Czochralského metoda. Jedná se o proces, který spočívá v pomalém tažení zárodku krystalu z vysoce čisté taveniny křemíku. Vzniklé kulaté ingoty monokrystalického křemíku se ořezávají na požadovaný tvar, ze kterého se poté řezají destičky o tloušťce 0,2–0,3 mm ²⁷. Následuje úprava povrchu, kterou se odstraní nepravidelnosti a nečistoty vzniklé při řezu. Dalším krokem je vytvoření PN přechodu. Na destičku, která je již dotována příměsí typu P se napaří tenká vrstva fosforu, která na povrchu vytvoří polovodič typu N. Po umístění kontaktů a antireflexní vrstvy je článek kompletní. Výhoda těchto článků spočívá v jejich čisté sktruktuře, díky které obvykle dosahují lepší účinnosti než ostatní typy článků.



Obrázek 3.5: 1. Monokrystalický, 2. Polykrystalický, 3. Tenkovrstvý (a-Si) ²⁸

²⁶ MURTINGER et al., pozn. 5, s. 17

²⁷ MURTINGER et al., pozn. 5, s. 18

²⁸ OSMAN, Mobark a Zafer ALIBABA. *Comparative Studies on Integration of Photovoltaic in Hot and Cold Climate*. *Scientific Research Journal* [online]. 2015 [cit. 2021-03-11]. s. 50. ISSN 2201-2796. Dostupné z: <http://www.scirj.org/papers-0415/scirj-P0415251.pdf>

3.2.2. Polykrystalické křemíkové články

Polykrystalické pevné látky jsou složeny z drobných krystalků, které vykazují nahodilou orientaci. Díky této komplikovanější struktuře dokážou články z polykrystalického křemíku lépe zachytit rozptýlené světlo a jejich výkon je během dne stabilnější. Proto se tyto články nejvíce využívají tam, kde není zcela možné zajistit ideální orientaci ke Slunci. Jejich charakteristický znak je do modra zbarvený krystalový povrch.

Při výrobě se používá metoda blokového lití, která spočívá v odlévání čisté křemíkové taveniny do čtvercových forem. Tak vzniknou polykrystalické křemíkové bloky, které se opět rozřezávají na požadované destičky. Tato metoda není tedy tak technologicky náročná a díky čtvercovému tvaru bloků se sníží odpad při řezání. Nicméně vlivem většího odporu mezi jednotlivými krystalky vykazuje polykrystalická struktura horší elektrické vlastnosti. Výkon a účinnost těchto článků je tedy o něco nižší než u monokrystalických článků.²⁹

3.2.3. Tenkovrstvé články

Materiály pro výrobu těchto článků vykazují velký absorpční koeficient. Díky této vlastnosti materiálů lze realizovat FV článek ve vrstvě o tloušťce pouhých několika mikrometrů. Tenkovrstvé články se vyrábějí z mnoha různých polovodičových materiálů. Mezi nejčastější zástupce patří amorfní křemík (a-Si), telurid kadmia (CdTe) a diselenid mědi a india (CuInSe₂–CIS články)³⁰. V tenkovrstvé technologii se zpravidla vytváří celý FV modul najednou a velmi často se deponuje na skleněný substrát. Nicméně je možné moduly realizovat i na ohebných foliích, které lze využít jako krycí fólie na střechy.

Tenkovrstvé technologie mají oproti výše zmíněným typům výhodu v tom, že spotřebují výrazně méně materiálu a lze je lépe integrovat do pláštěů budov. Jejich nevýhoda tkví v nižší účinnosti a ve finančně náročné technologii výroby.³¹

²⁹ HASELHUHN, pozn. 25, s. 19

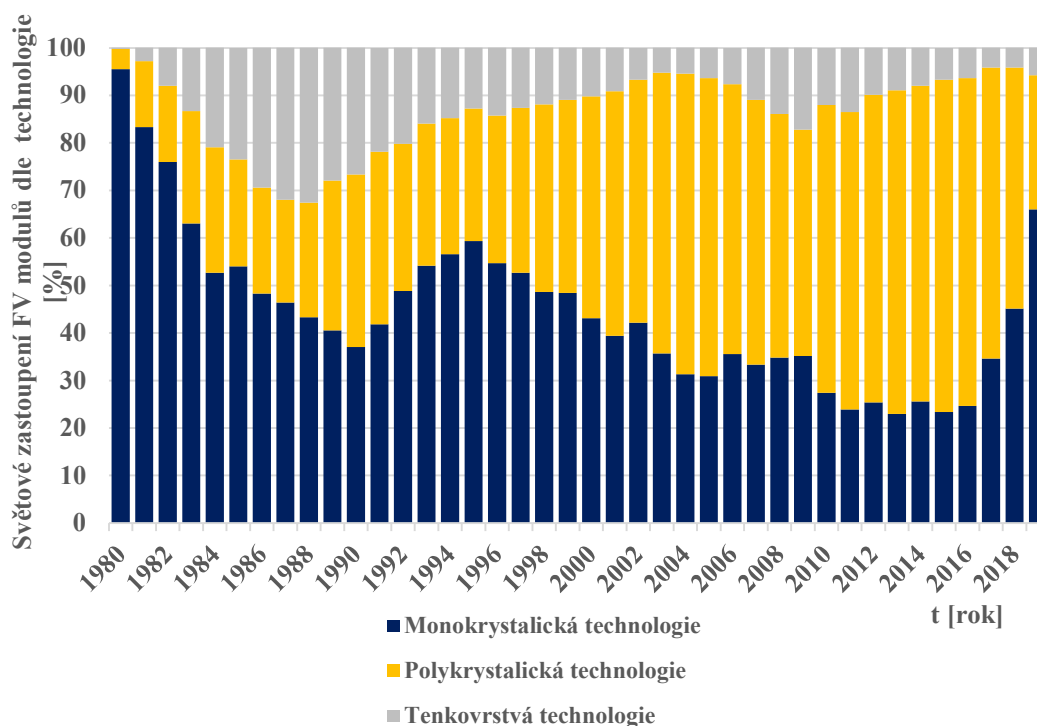
³⁰ BENDA, Vítězslav, Kamil STANĚK a Petr WOLF. *Fotovoltaické systémy* [online]. 2011 [cit. 2021-02-10]. s. 22. Dostupné z: <https://docplayer.cz/10537342-Fotovoltaicke-systemy.html>

³¹ HASELHUHN, pozn. 25, s. 23–24

Typ FV modulu	Účinnost η [%]
Monokrystalické křemíkové	18–22
Polykrystalické křemíkové	16–18
Tenkvrstvé – CdTe	15–17

 Tabulka 3.1: Průměrná účinnost FV modulů ³²

V začátcích vývoje fotovoltaiky byla většina komerčně dostupných FV modulů vyráběna z monokrystalického křemíku. Vlivem energeticky i technicky náročné technologie na výrobu monokrystalického křemíku se ale postupem času začalo více využívat polykrystalických článků, jejichž technologických postup výroby byl značně jednodušší. Nicméně v posledních letech dochází ke zdokonalování a zlevňování výrobních procesů monokrystalické technologie a její procentní podíl v celkové produkci FV modulů strmě roste. Podle odhadů už tvoří 66 % celkové produkce ³³ a vypadá to tedy, že polykrystalické články se nejspíše stanou minulostí solární energetiky.


 Graf 3.1: Světové zastoupení FV modulů dle použité technologie ³⁴

³² BERMUDEZ, Veronica a Alejandro PEREZ-RODRIGUEZ. *Understanding the cell-to-module efficiency gap in Cu(In,Ga)(S,Se)₂ photovoltaics scale-up* [online]. 2018, , 466–475 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: doi:10.1038/s41560-018-0177-1

³³ Vytvořeno autorem. Zdroj: FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS ISE. *Photovoltaics report* [online]. Freiburg, 2020 [cit. 2021-03-11]. s. 5. Dostupné z: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>

³⁴ FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS ISE, pozn. 33, s. 21

4. Fotovoltaická elektrárna

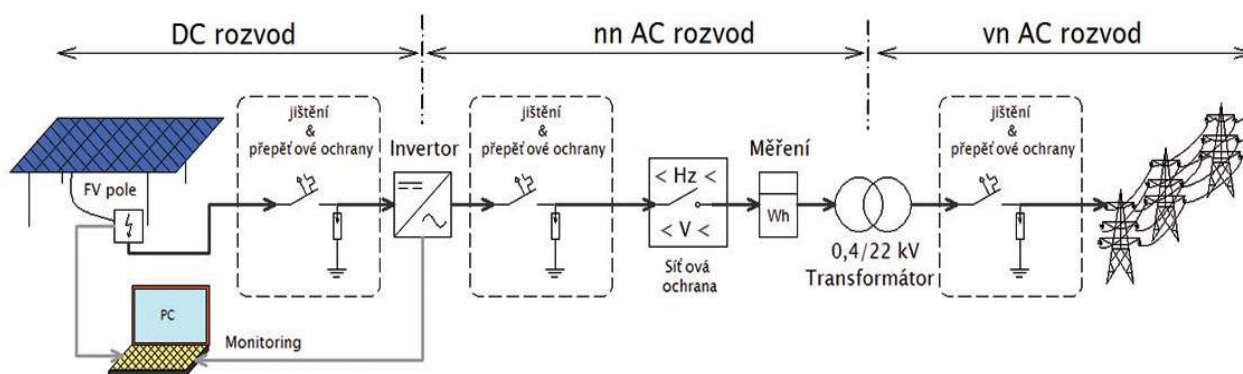
Základem fotovoltaické elektrárny je solární generátor, který je tvořen vhodným propojením FV modulů. Provádí se vzájemné sérioparalelní propojení, kterým se dosáhne požadovaných parametrů napětí a proudu. Generovaná stejnosměrná energie se převede na střídavou energii, která je následně buď dodávána do distribuční sítě (DS), nebo je přímo spotřebována v místě instalace.

Konkrétní podoba výsledného solárního konceptu vždy záleží na tom, k jakému účelu má být využíván. V následujících částech této kapitoly budou popsány jeho jednotlivé komponenty a následně budou rozebrána jejich možná zapojení v rámci FV systémů.

4.1. Popis základních komponentů

Fotovoltaická elektrárna (FVE) se obvykle skládá z těchto základních prvků:

- 1) fotovoltaické moduly,
- 2) rozvody a ochranná zařízení stejnosměrné (DC) části,
- 3) invertor (střídač),
- 4) rozvody a ochranná zařízení střídavé (AC) části,
- 5) měřicí zařízení vyrobené energie,
- 6) rozvody elektrické energie – domovní nebo distribuční síť.



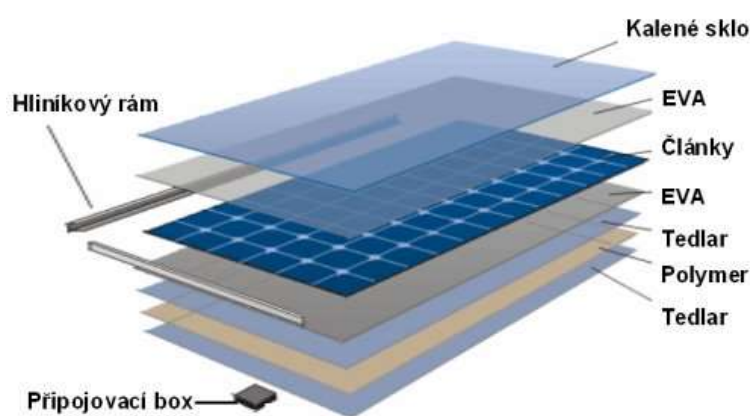
Obrázek 4.1: Obecné schéma FVE pracující paralelně s distribuční sítí³⁵

³⁵ VÍTĚZSLAV, BENDA. *Hlavní vývojové trendy ve fotovoltaice* [online]. 2019 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/fotovoltaika/hlavni-vyvojove-trendy-ve-fotovoltaice>

4.1.1. Fotovoltaický modul

Pracovní napětí jednotlivých krystalických FV článků se pohybuje kolem 0,5 V. Proto se jednotlivé FV články sériově propojují do jednotlivých řetězců, ze kterých se následně sestaví výsledný solární modul. Standardně se používají moduly s 36 články o výstupním napětí 12 V nebo se 72 články o napětí 36 V ³⁶. Důležitým parametrem FV modulu je výkon, jehož jednotka je tzv. Watt-peak (Wp). Jedná se o špičkový výkon dodávaný při standardních testovacích podmínkách. Nicméně je zřejmé, že v reálném prostředí jsou tyto podmínky po většinu času nedosažitelné a udávaný výkon dosahují moduly jen velmi zřídka.

V reálném provozu je nutné zajistit co největší životnost FV modulů. Proto se do série spojené FV články vkládají mezi dvě vrstvy etylvinylacetátové fólie (EVA), která se při působení tepla zataví k přednímu sklu a zadní umělohmotné fólii (Tedlar). Celý FV modul se tedy dokonale utěsní a zároveň se zajistí elektrická izolace jednotlivých FV článků. Aby se zajistila co nejlepší propustnost světla k článkům, obsahuje přední sklo pouze malé množství oxidu železa. Velmi často bývá také na toto tvrzené sklo nanесena antireflexní vrstva, která sníží odrazivost a zvýší tak účinnost. Poslední důležitý komponent je hliníkový rám, který slouží k montáži a zároveň chrání citlivé hrany skla. Zadní strana modulu je opatřena svorkovnicí s překlenovacími diodami. Tato výsledná struktura chrání články před povětrnostními vlivy, mechanickým namáháním a vlhkostí. ³⁷



Obrázek 4.2: Konstrukce standardního rámovaného modulu ³⁸

³⁶ HASELHUHN, pozn. 25, s. 29

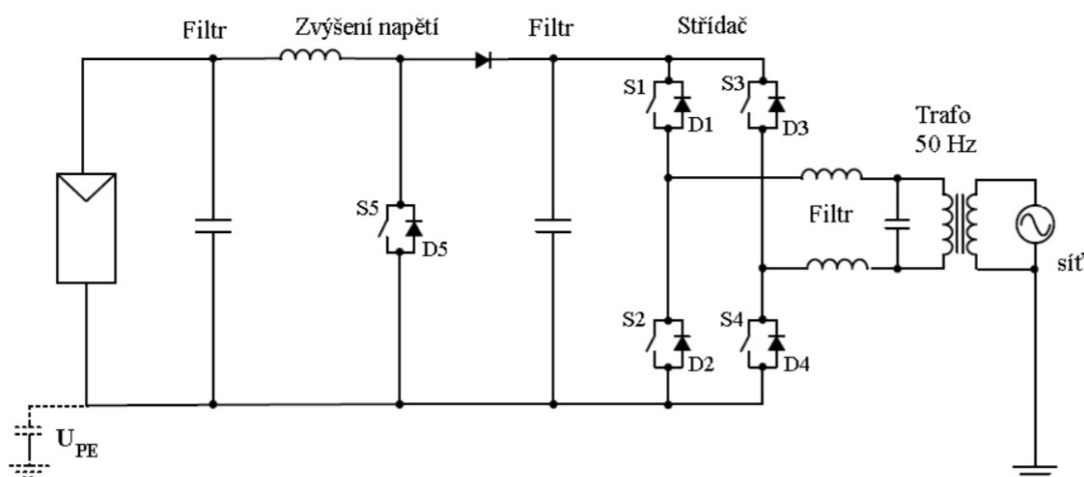
³⁷ BENDA et al., pozn. 31, s. 21

³⁸ BECHNÍK, Bronislav. *Historie a perspektivy OZE – fotovoltaika, technologie krystalického křemíku* [online]. 2009. [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5470-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-technologie-krystalickeho-kremiku>

4.1.2. Střídač

Je elektronické zařízení, které převádí stejnosměrný proud na střídavý, a tím umožňuje využít vyrobenou energii v síťových rozvodech. U FVE připojené k elektrické rozvodné síti musí střídač synchronizovat kmitočet a napětí s aktuálními parametry sítě. Dále jsou kladeny požadavky na maximální možné zkreslení výstupního proudu a na zajištění samočinného odpojení při výpadku sítě. Střídač také obvykle obsahuje sledovač bodu maximálního výkonu (MPPT), který reguluje vstupní napětí střídače tak, aby byl v každém okamžiku zajištěn maximální výkon FVE.³⁹

Na trhu se vyskytuje mnoho různých druhů střídačů. Podle konstrukce je lze rozdělit na zařízení s transformátorem nebo s DC/DC měničem. Střídač se stejnosměrným měničem má o něco vyšší účinnost a nižší hmotnost. Nevýhoda takového zapojení je ale ta, že obvod není galvanicky oddělený a nelze jej využít pro tenkovrstvé technologie⁴⁰. Příklad vnitřního zapojení střídače s transformátorem je znázorněn na obrázku.



Obrázek 4.3: Vnitřní zapojení střídače s nízkofrekvenčním transformátorem⁴¹

Princip je založen na pulzně šířkové modulaci, u které je stejnosměrný signál rozpínán výkonovými spínači (S1–S4) na impulzy s vhodně měnící se šířkou. Na výstupu dostáváme periodicky opakující se signál, jehož první harmonická frekvence má sinusový tvar. Následující indukčnosti zajistí vyhlazení proudu a výstupní transformátor převede napětí na požadovanou velikost. Spínací a vypínací impulzy pro spínače jsou

³⁹ MURTINGER et al., pozn. 5, s. 43

⁴⁰ HASELHUHN, pozn. 25, s. 56

⁴¹ ČVUT FEL. *Fotovoltaické systémy připojené k elektrické síti* [online]. Laboratoř fotovoltaických systémů a elektrochemických zdrojů [cit. 2021-02-26]. s. 14. Dostupné z: http://pasan.feld.cvut.cz/a1b13svs/2016_svs6a.pdf

realizovány mikroprocesorem a frekvence spínání bývá řádově v kHz. V praxi se ale více využívá zapojení s vysokofrekvenčním transformátorem, který je účinnější a má výrazně menší rozměry.

Účinnost střídačů se mění v závislosti na klimatických podmínkách, a proto se kromě maximální účinnosti, udává i tzv. evropská účinnost,⁴² která je vztažena ke středoevropskému klimatu. Jedná se o vážený součet účinností pro různé nominální výkony a její hodnota lépe vypovídá o reálné celoroční účinnosti střídače. Druhým důležitým parametrem střídačů je účinnost MPPT, která zohledňuje přesnost udržení optimálního pracovního bodu.

Z hlediska zapojení v systému FVE se střídače dělí na:

- 1) modulové – střídač připojen pouze k jednomu FV modulu,
- 2) řetězcové neboli stringové – střídač je připojen k několika FV panelům,
- 3) centrální – střídač připojený na stovky až tisíce FV panelů.

U malých a středních elektráren se nejvíce využívá řetězcových střídačů a v případě velkých FVE je často využívána kombinace s centrálními střídači. Modulové střídače nazývané také jako mikrostrídače se používají jen zřídka, neboť mají nižší životnost a velké pořizovací náklady.⁴³

4.2. Typy fotovoltaických systémů

4.2.1. Autonomní systémy (Grid off)

Tyto systémy nejsou připojeny na elektrorozvodnou síť a instalují se na místech, kde není vybudována elektrická infrastruktura. V těchto odlehlých místech bývá tento typ zapojení FVE často nejlepší způsob k zajištění dodávky elektrické energie. Tyto systémy mají uplatnění například jako zdroj elektrické energie pro napájení vesmírných satelitů, odlehlých objektů a čerpacích soustav v rozvojových zemích.⁴⁴

4.2.2. Síťové systémy (Grid on)

Jak už název napovídá, jedná se o systémy připojené k rozvodné síti. Jsou nejvíce uplatňovány v rozvinutých zemích, kde bývá hustá síť elektrických rozvodů. Tento

⁴² HASELHUHN, pozn. 25, s. 58

⁴³ MASTNÝ et al., pozn. 19, s. 83

⁴⁴ MURTINGER et al., pozn. 5, s. 46–47

system nevyužívá žádného akumulčního prvku, neboť je v každém čase umožněno vyrobenou energii dodávat do sítě. Nutná podmínka pro připojení k síti je splnění požadavku na bezpečnost provozu a kvalitu vyráběné elektrické energie.

V těchto systémech je vyrobená energie buďto spotřebována přímo v místě instalace, nebo je zcela odváděna do sítě. V prvním případě mluvíme o tzv. systému pro vlastní spotřebu, který se nejvíce využívá u menších až středních instalací. Jedná se o instalace na střechy rodinných domů a průmyslových celků, u kterých lze spotřebovat převážnou část vyrobené elektrické energie. Na provoz objektu se odebírá podstatně méně elektřiny ze sítě a případné nadbytky jsou prodávány do distribuční sítě. Takový koncept neumí pracovat nezávisle, neboť při výpadku dochází k odpojení FVE. Nevýhodou uvedeného systému je také to, že generovaná energie z FVE je využívána pro vlastní spotřebu pouze v době výroby.⁴⁵

Druhá varianta se týká systému pro dodávku do sítě, který se většinou využívá u větších FVE. U tohoto konceptu je veškerá vyrobená elektrická energie dodávána do distribuční soustavy. Vyrobená energie je prodávána za výkupní cenu provozovateli sítě, který má povinnost tuto elektrickou energii vykoupit.

4.2.3. Hybridní systémy

Dalším typem je síťový systém doplněný o akumulaci elektrické energie. V podstatě se jedná o spojení předchozích dvou systémů. V případě nadbytku elektrické energie jsou nejčastěji nabíjeny bateriové banky, ze kterých je posléze dodávána energie na pokrytí špičkových spotřeb. Po plném nabití bateriového uložisti se vyráběná elektrická energie dále využívá pro vytápění, ohřev teplé vody (TV) či v jiných předem určených aplikacích. Výhodou takové FVE je tedy to, že maximalizuje využití vyrobené energie přímo v místě instalace.

Hybridní fotovoltaické systémy nacházejí uplatnění především v dnešní době. V minulém roce hybridní fotovoltaické elektrárny tvořily dokonce více než polovinu nových instalací na českém rezidenčním trhu⁴⁶. Je to dáno tím, že v ČR již není podporovaná výkupní cena vyrobené elektřiny, a proto bývá ekonomicky výhodnější vyrobenou energii akumulovat než prodávat za nízkou výkupní cenu. Jediná nevýhoda těchto systémů je ta, že jsou znatelně dražší než základní systémy připojené na síť

⁴⁵ HASELHUHN, pozn. 25, s. 102

⁴⁶ BIDLI holding, a.s. *Tisková zpráva* [online]. 11. 2. 2021 [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <http://www.crestcom.cz/cz/tiskova-zprava/?id=2980>

5. Energetická charakteristika historického domu

5.1. Popis objektu

Jedná se o zahradní dům z roku 1905, který byl v letech 2006–2008 zrekonstruován do dnešní podoby. V letních měsících je dům provozován jako penzion a během letních prázdnin zde bývá v provozu i malá rodinná kavárna. Jelikož se objekt nachází neda- leko od Babiččina údolí navštěvují tuto kavárnu především kolemjdoucí turisté. V horním patře domu jsou umístěny tři dvoulůžkové pokoje a jeden jednolůžkový po- koj. V přízemí se nachází kavárna s kuchyní a dva snídaňové salóanky. Dům využívá k provozu pouze elektrickou energii.

V posledních třech letech nebyl objekt nabízen k ubytování a sloužil především k re- kreaci majitele. Nicméně jak už bylo zmíněno, majitel se rozhodl pro obnove- ní předešlého provozu a navíc plánuje více využívat objekt v měsících květnu a září. Přes zimní období by také rád nechal dům temperovat a zabránil tak problémům s vlhkostí.



Obrázek 5.1: Historický dům ⁴⁷

⁴⁷ Vytvořeno autorem

5.2. Spotřeba elektrické energie na provoz domu

Při návrhu FV systému je nejprve nutné analyzovat elektrickou spotřebu na předpokládaný provoz domu. Dům bude v provozu od května do září a velká část elektrické energie se spotřebuje na ohřev teplé vody (TV). V domě jsou umístěny dva 200l elektrické bojler, které zásobují teplou vodou koupelny umístěné v horním patře. Při výpočtu potřebné energie pro ohřev TV je počítáno s denní spotřebou teplé vody 45 l na osobu, což je průměrná denní potřeba u objektů pro bydlení⁴⁸. Dále se bude vycházet z toho, že o prázdninách bývá dům plně obsazen. Pro zbylé měsíce bude počítáno s průměrným obsazením čtyřmi osobami.

Denní potřeba energie na ohřev TV během prázdnin:

$$Q_{TUV,dp} = 0,8 \cdot (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_p \cdot p_1 \cdot (t_2 - t_{sv})}{3600} \quad [\text{Wh} \cdot \text{den}^{-1}] \quad 4.1$$

Denní potřeba energie na ohřev TV během zbylých měsíců:

$$Q_{TUV,dzm} = 0,8 \cdot (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_p \cdot p_2 \cdot (t_2 - t_{sv})}{3600} \quad [\text{Wh} \cdot \text{den}^{-1}] \quad 4.2$$

kde:

z ...koeficient energetických ztrát [-] (0,5–1)

ρ ...měrná hustota vody [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

c ...měrná tepelná kapacita [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

V_p ...denní potřeba teplé vody na osobu [$\text{m}^3 \cdot \text{osoba}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$]

p_1 ...průměrná obsazenost objektu o prázdninách [-]

p_2 ...průměrná obsazenost objektu ve zbylých měsících [-]

t_2 ...požadovaná teplota vody [$^{\circ}\text{C}$]

t_{sv} ...teplota studené vody [$^{\circ}\text{C}$]

Pro koeficient energetických ztrát byla zvolena hodnota 0,6. Rozvod teplé vody je v dobrém stavu, jelikož byl celý měněn při zmiňované rekonstrukci.

⁴⁸ ČSN EN 12831-3. *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 3: Tepelný výkon pro soustavy teplé vody a charakteristika potřeb, Modul M8-2, M8-3*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, prosinec 2018.s. 45

Dále bude pro tyto měsíce určena elektrická spotřeba jednotlivých spotřebičů. Pro názornost byla pro každý měsíc sestavena tabulka používaných spotřebičů s jejich příkony a předpokládanou dobou využití. Příklad vypočítané elektrické spotřeby pro měsíc srpen znázorňuje následující tabulka.

Název spotřebiče	Instalovaný elektrický příkon [W]	Průměrná spotřeba elektřiny [kWh·rok ⁻¹]	Doba využití	Měsíční spotřeba elektřiny [kWh]
Kombinovaná lednice s mrazákem	–	251	24 hodin	21,3
Lednice 2	–	117	24 hodin	9,9
Rychlovarná konvice *	2 200	–	5× denně	15,3
Kávovar *	1 500	–	50× denně	82,2
Mixér	1 700	–	15 minut	11,5
Elektrická trouba	2 990	–	1× týdně 1 hodina	3,7
Pračka	–	253	2× týdně 3 hodiny	21,5
Průmyslový vysavač	1 600	–	2× týdně 1 hodina	12,8
Notebook	30	–	2 hodiny	1,8
Sklokeramický vařič (2 plotýnky)	3 400	–	45 minut	79,1
Ohřev TV	–	–	–	675,8
Osvětlení: kuchyň	4 × 40	–	2 hodiny	9,92
Osvětlení: dvoulůžkový pokoj 1	5 × 40	–	2 hodiny	12,4
Osvětlení: dvoulůžkový pokoj 2	5 × 40	–	2 hodiny	12,4
Osvětlení: dvoulůžkový pokoj 3	5 × 40	–	2 hodiny	12,4
Osvětlení: jednolůžkový pokoj 4	5 × 40	–	2 hodiny	12,4
Osvětlení: koupelny a chodba	12 × 40	–	1 hodina	14,9
Osvětlení: salónek 1	7 × 40	–	1 hodina	8,7
Osvětlení: salónek 2	7 × 40	–	1 hodina	8,7
Ostatní elektrické přístroje	–	–	–	30,0
Celková spotřeba elektřiny za srpen [kWh]				1 056,7

Tabulka 5.1: Spotřeba elektrické energie pro měsíc srpen ⁴⁹

V období prázdnin je objekt využíván přibližně stejně, a proto i spotřeba elektřiny v těchto měsících bude velmi podobná. Kavárna bývá v provozu od úterý do neděle a před jejím otevřením je připravovaná snídaně do dvou snídaňových salónek. Při pro-

⁴⁹ Vytvořeno autorem na základě konzultace s majitelem

* Určení elektrické spotřeby vycházelo z dat uvedených na: PRAŽSKÁ ENERGITIKA, a.s. *Orientační hodnoty spotřeby* [online]. Praha, 2013 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.premereni.cz/Files/sluzby/pujcovani-mericich-zarizeni/meric-spotreby-elektřiny/orientacni-hodnoty-spotreby-domacich-spotrebicu/>

vozu kavárny jsou nejvíce využívanými spotřebiči kávovar, rychlovarná konvice, mixér a malý bojler umístěný přímo pod dřezem. Dále se na spotřebě podílejí klasické elektrospotřebiče a osvětlení, které je v celém domě realizováno renovovanými lustry s 40W žárovkami.

Pro zbylé měsíce odpadá provoz kavárny a počítá se také s menší obsazeností pokojů. Z pohledu spotřeby bude nejméně energie spotřebováno v červnu, kdy ještě není nutné přitápět v pokojích. To neplatí pro měsíce květen a září, ve kterých se už navíc projeví spotřeba elektřiny na vytápění domu.

Pro možnost porovnání reálné a napočítané spotřeby je zde uvedeno celkové vyúčtování za elektřinu. Z tabulky vyplývá, že napočítaná hodnota je větší, než byla u posledního provozního roku kavárny. Je to dáno tím, že se objekt v květnu a září skoro vůbec nevyužíval.

Fakturační období	Spotřeba elektřiny v NT [kWh]	Spotřeba elektřiny ve VT [kWh]	Celková spotřeba elektřiny [kWh]
22.06.2016 – 22.06.2017	3 241	381	3 622
23.06.2017 – 21.06.2018	3 416	392	3 808
Napočítaná spotřeba	–	–	6 431

Tabulka 5.2: Přehled celkového vyúčtování za spotřebu elektřiny⁵⁰

Elektrická energie je momentálně dodávána společností ČEZ Prodej, a.s., a objekt využívá distribuční sazbu D45d. Jedná se o dvoutarifovou sazbu s operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu (NT) po dobu 20 hodin. Smlouva s dodavatelem je uzavřena na dobu neurčitou a proudová hodnota hlavního domovního jističe je 3×32 A. Ceny elektřiny v tomto tarifu jsou pro rok 2021 následovné:⁵¹

$$C_{VT} = 2,51 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1} \text{ (bez DPH)}$$

$$C_{NT} = 2,40 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1} \text{ (bez dph)}$$

Cena nezahrnuje fixní náklady nezávislé na spotřebě, jako jsou stále měsíční platby za rezervovaný příkon jističe, činnost operátora trhu a stálou platbu v obchodní části ceny.

⁵⁰ Vytvořeno autorem

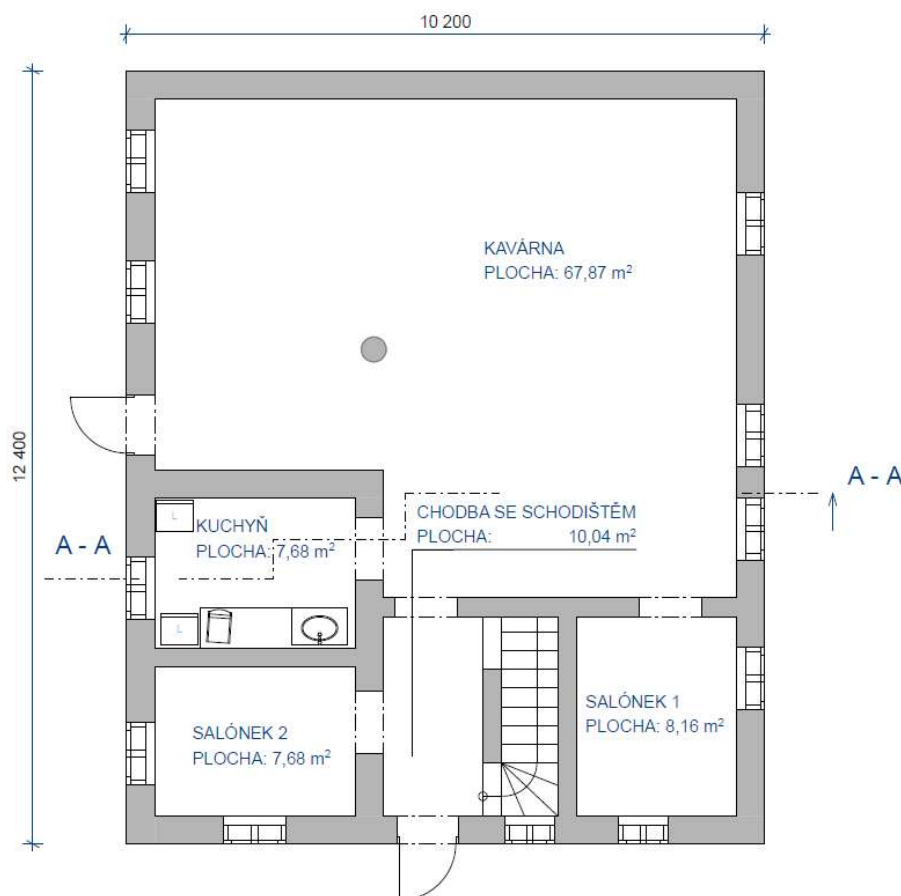
⁵¹ ČEZ Prodej, a.s. *Ceník* [online]. 2020 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2021/moo/web-new-cenik-elektrina-dobu-neurcitou-moo-2020-12-cezdi.pdf>

5.3. Spotřeba elektrické energie v otopném období

Pro zbylé měsíce roku bude počítáno se zmiňovaným temperováním domu. K zajištění tepelné stability musí být v domě dle normy ČSN EN 12831-1 – *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3* (dále jen „norma ČSN EN 12831-1“), udržována teplota 5 °C. Potřebná energie na tento typ provozu se určí na základě velikosti tepelných ztrát domu.

5.3.1. Vstupní údaje potřebné k výpočtu tepelných ztrát

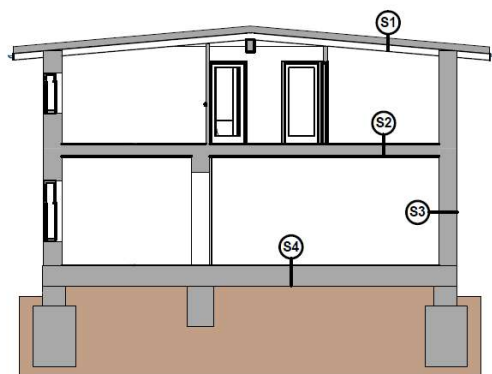
Jelikož pro rekonstrukci v roce 2008 nebyla zhotovena žádná stavební dokumentace, bylo zapotřebí před výpočtem zanalyzovat stávající stav domu. V programu Archicad od společnosti GRAPHISOFT SE dostupného na www.myarchicad.cz, byly zakresleny půdorysy jednotlivých podlaží a na základě konzultace s majitelem byl sestaven řez s materiálovým popisem jednotlivých konstrukcí.



Obrázek 5.2: Půdorys přízemí⁵²

⁵² Vytvořeno autorem za pomoci programu Archicad z: GRAPHISOFT SE. *Educational Licenses* [software]. [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: <https://myarchicad.com>

ENERGETICKÁ CHARAKTERISTIKA HISTORICKÉHO DOMU



S1 - SKLADBA STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ

- Plechová střešní krytina tl. 0,5 mm
- Prkenný záklop na sraz tl. 25 mm + pojistná izolace tl. 2 mm
- Tepelná izolace - Isover Unirol Profi tl. 160 mm
- Kovový držák výšky 100 mm + pomocné krokve 60/60
- Prkenný záklop na sraz tl. 25 mm + parozábrana tl. 1 mm
- Krokve 160/120

S2 - SKLADBA STROPŮ

- Dřevěnné palubky tl. 20 mm
- Beton hutný tl. 30 mm
- Tepelná izolace - Polystyren EPS tl. 60 mm
- Cementový potěr tl. 20 mm
- Hurdis do I č. 160

S3 - SKLADBA OBVODOVÉ STĚNY

- Tepelné izolační omítka tl. 25 mm
- Cihly plně pálené tl. 450 mm
- Vápenocementová omítka tl. 25 mm

S4 - SKLADBA PODLAHY

- Keramická dlažba tl. 8 mm
- Baumit lepidlo na dlažby tl. 5 mm
- Anhydrid + topné kabely tl. 50 mm
- PE fólie tl. 1,05 mm
- Tepelná izolace - Polystyren EPS tl. 80 mm
- Hydroizolace - Elastodek 40 Medium Mineral tl. 4 mm
- Beton hutný tl. 100 mm
- Štěrkodř hutněná - frakce 0-32 tl. 100 mm

Obrázek 5.3: Řez A–A s materiálovým popisem konstrukcí ⁵³

Materiálová skladba konstrukcí oddělující vytápěný prostor byla vložena do programu Teplo 2017 od společnosti K-CAD, spol. s r.o., dostupného na webu www.kcad.cz, za pomoci kterého byl v souladu s normativními požadavky vypočítán celkový tepelný odpor R a součinitel prostupu tepla U_k . U špaletových a francouzských oken byl součinitel prostupu tepla určen dle návrhové hodnoty v tabulce D.1 uvedené v normě ČSN EN 73 0540-3 – *Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin*.

Typ konstrukce	R [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]	U_k [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
Skladba střešního pláště	4,72	0,21
Skladba obvodové stěny	0,73	1,11
Skladba podlahy	3,08	0,31
Vstupní dveře	0,17	2,97
Špaletová okna	0,19	2,35
Francouzská okna	0,19	2,35

Tabulka 5.3: Základní tepelně – izolační parametry jednotlivých konstrukcí ⁵⁴

⁵³ Vytvořeno autorem na základě konzultace s majitelem

⁵⁴ Vytvořeno autorem za pomoci programu Teplo 2017 z: K-CAD, spol. s r.o. *Teplo 2017* [software]. [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: <http://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/teplo/>

Pro výpočet je také nutné zjistit klimatické údaje v dané lokalitě objektu. Nejvíce vypovídají hodnoty o klimatických podmínkách v této oblasti bude zajišťovat nedaleká meteorologická stanice u České Skalice. Data z této stanice jsou dostupné na webu www.chmi.cz a tříletý průměr měsíčních teplot je uveden v následující tabulce.

Měsíc	Průměrná teplota [°C]	Měsíc	Průměrná teplota [°C]
Leden	-1,5	Červenec	20,0
Únor	0,4	Srpen	21,0
Březen	4,8	Září	14,7
Duben	11,0	Říjen	10,7
Květen	15,1	Listopad	6,0
Červen	20,0	Prosinec	2,0

Tabulka 5.4: Průměrné měsíční teploty ⁵⁵

Z tabulky vyplývá, že temperování domu na teplotu 5 °C bude realizováno v období od prosince do března. To odpovídá přibližně 120 topným dnům, při kterých je průměrná venkovní teplota 1,4 °C. Pro měsíce květen a září bude vnitřní výpočtová teplota zvolena 20 °C. Venkovní výpočtová teplota pro oblast Náchod je stanovena na -15 °C. ⁵⁶

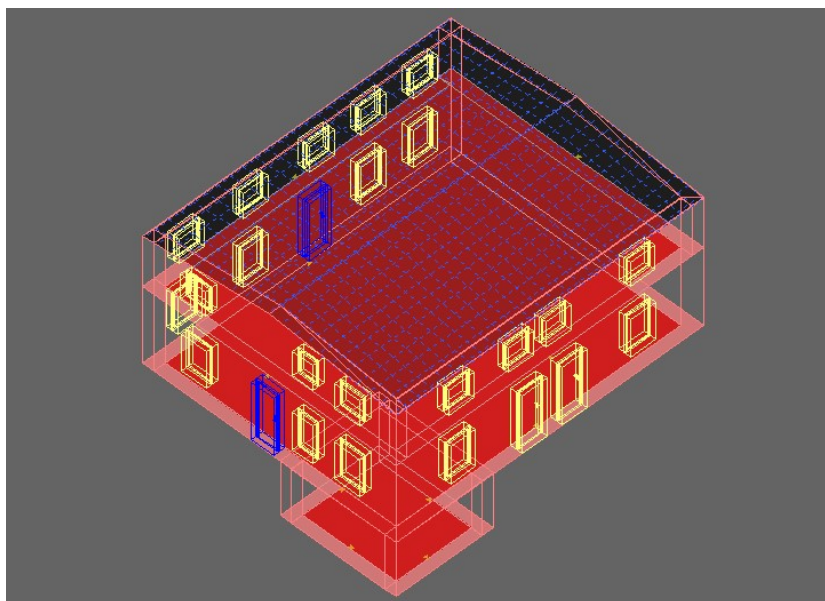
5.3.2. Výpočet tepelných ztrát

Samotný výpočet tepelných ztrát byl proveden v souladu normou ČSN EN 12831-1 projekčním programem TechCON od společnosti Atcon systems s.r.o. dostupným na www.viega.cz.

Při výpočtu byla použita zjednodušená metoda, při které se uvažuje pouze s obálkou budovy. Celková tepelná ztráta pro vytápěný prostor je poté dána ztrátou způsobenou infiltrací a ztrátou prostupem tj. ztráta vnějšími stěnami, okny, dveřmi, střechou a podlahou na zemině.

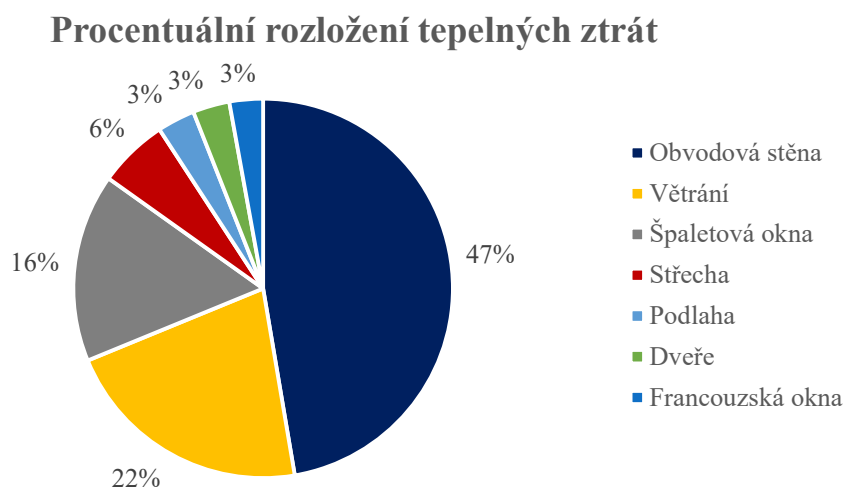
⁵⁵ Vytvořeno autorem na základě dat z: ČHMÚ. *Denní data dle zákona 123/1998 Sb.* [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/Denni-data-dle-z-123-1998-Sb#>

⁵⁶ ČSN EN 12831-1. *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, září 2018, tabulka NA.1 – Klimatické údaje, s. 93



Obrázek 5.4: Nasimulovaná obálka domu ⁵⁷

Celková tepelná ztráta při vnitřní výpočtové teplotě 20 °C vyšla 15,5 kW. Pro uvažované temperování na 5 °C je tepelná ztráta rovna 8,6 kW a procentuální rozložení tepelných ztrát je zobrazeno na následujícím grafu.



Graf 5.1: Procentuální úniky tepla jednotlivými konstrukcemi ⁵⁸

⁵⁷ Simulace vytvořena autorem za pomoci programu TechCON z: VIEGA s.r.o. *Projekční software* [software]. [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: <https://www.viega.cz/cs/podpora/software/software.html>

⁵⁸ Vytvořeno autorem

Výsledná hodnota tepelné ztráty určuje velikost potřebného tepelného výkonu na udržení požadované teploty při nejnepríznivějších klimatických podmínkách v dané oblasti. Pro určení roční potřeby tepla je tedy důležitá průměrná venkovní teplota a výpočet lze provést tzv. denostupňovou metodou.⁵⁹

Nejprve se určí opravný součinitel podle následujícího vztahu:

$$\varepsilon = \frac{e_i \cdot e_t \cdot e_d}{\eta_o \cdot \eta_r} = \frac{0,81 \cdot 0,85 \cdot 1}{0,98 \cdot 0,95} = 0,74 \quad [-] \quad 4.3$$

kde:

e_i ...opravný součinitel nesoučasnosti ztrát infiltrací a prostupem [-]

e_t ...opravný součinitel regulace teploty [-]

e_d ...opravný součinitel zkrácení doby vytápění [-]

η_o ...účinnost rozvodu [-]

η_r ...účinnost regulace otopné soustavy [-]

Potřebná energie na vytápění za uvažované období:

$$Q_p = \frac{24 \cdot Q_c \cdot \varepsilon \cdot N \cdot (t_{is} - t_{es})}{(t_{is} - t_e)} \quad [\text{Wh}] \quad 4.4$$

kde:

Q_c ...celková tepelná ztráta [W]

ε ...opravný součinitel [-]

N ...počet topných dnů [-]

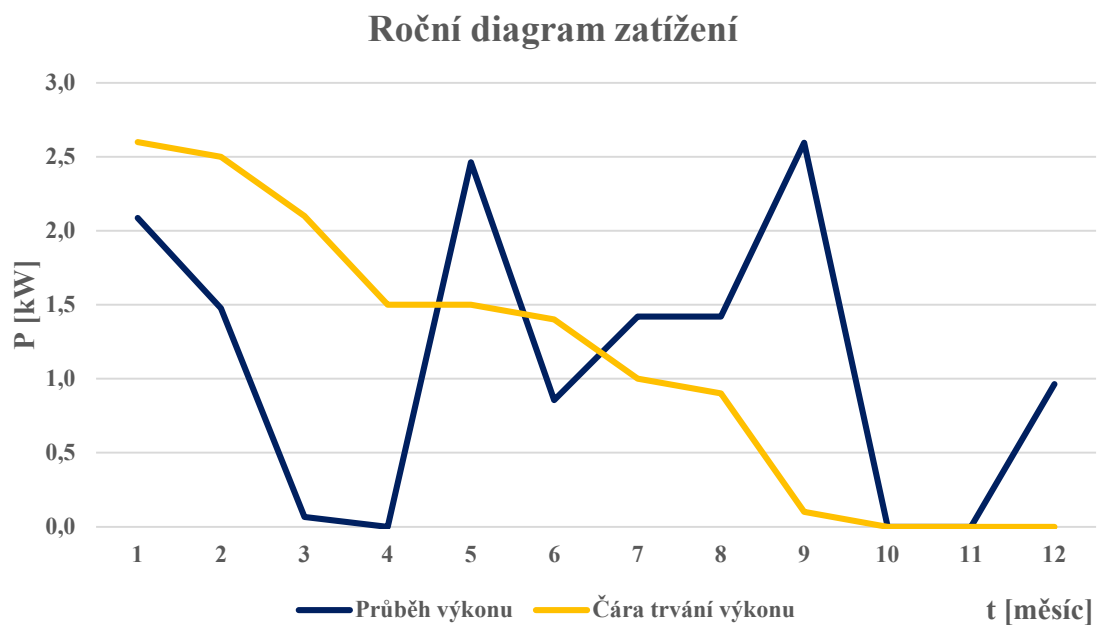
t_{is} ...výpočtová vnitřní teplota [°C]

t_{es} ...průměrná venkovní teplota v uvažovaném období [°C]

t_e ...výpočtová venkovní teplota [°C]

Celková potřeba energie na temperování byla za pomoci denostupňů přepočítána na jednotlivé měsíce a výsledný roční diagram zatížení domu je zobrazen na následujícím grafu.

⁵⁹ Jak už název napovídá, denostupně mají úzkou vazbu na jeden den a jsou určeny jako rozdíl mezi průměrnou denní venkovní teplotou a interiérovou teplotou



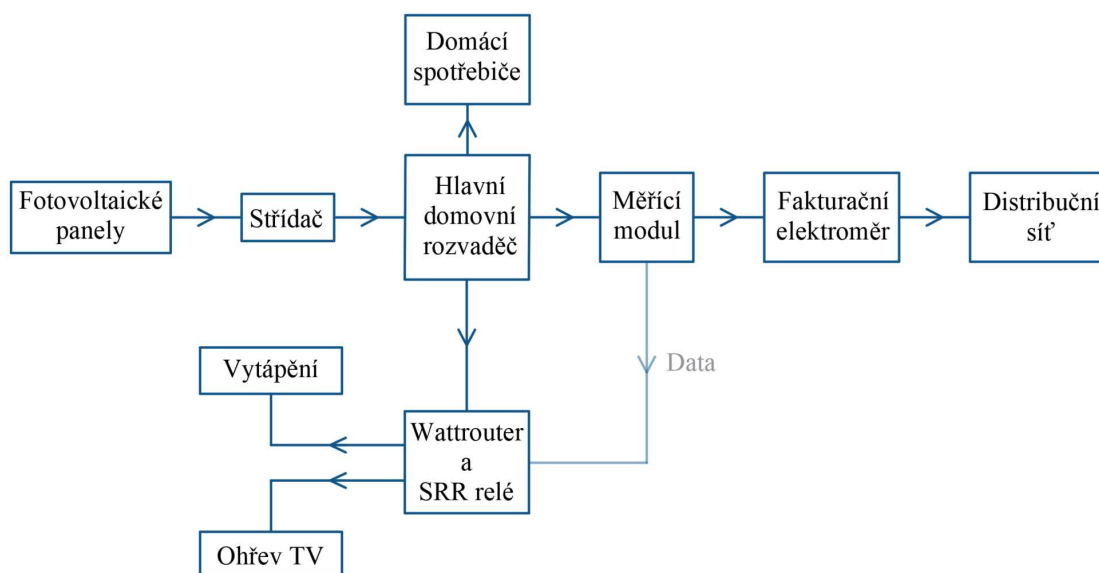
Graf 5.2: Roční diagram zatížení ⁶⁰

⁶⁰ Vytvořeno autorem

6. Návrh fotovoltaické elektrárny

Prvním důležitým krokem při návrhu je určit vhodný typ celého FV systému. Tím, že je fotovoltaika intermitentní zdroj ⁶¹, je nutné počítat s náhlými přebytky ale i s nedostatky vyráběné elektrické energie. Jak už bylo zmíněno v teoretické části, tak vlivem nízkých výkupních cen se velmi často ekonomicky vyplatí pouze systém doplněný o akumulaci případných přebytků.

Jelikož dům není využíván celoročně, bateriový systém z ekonomického hlediska nedává smysl. Výhodnější bude tedy využít klasického síťového systému, který bude od května do září využíván pro vlastní spotřebu s možností ukládání přebytků do ohřevu TV a do podlahového vytápění. V období temperování bude systém fungovat tak, že se veškerá vyrobená energie přeměruje na vytápění a zbytek potřebné elektřiny bude odebírán ze sítě. Naopak v měsících s nižší spotřebou bude vyrobená energie prodávána za smluvní cenu distributorovi elektrické sítě. Principiální schéma navrhované FVE je zobrazeno na následujícím obrázku.

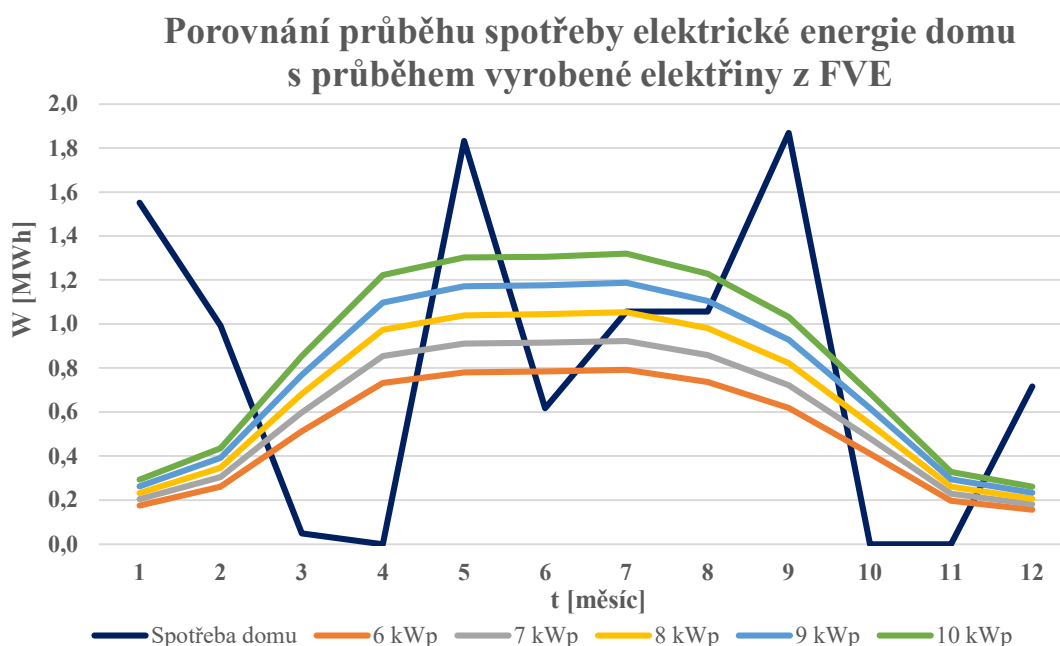


Obrázek 6.1: Principiální zapojení navrhované FVE ⁶²

⁶¹ Za intermitentní obnovitelné zdroje jsou považovány takové zdroje elektrické energie, jejichž výroba je závislá na okamžitém stavu počasí.

⁶² Vytvořeno autorem

Ke zjištění optimální velikosti FVE je výhodné provést porovnání průběhu spotřeby domu s průběhem vyrobené elektřiny z FVE. Porovnání bylo provedeno pro čtyři různé výše instalovaných výkonů FVE a předpokládané množství vyrobené elektřiny se určilo pomocí programu PVGIS. Do programu byly zadány všechny potřebné údaje o dané instalaci a poloze domu. Následně byla provedena simulace pro špičkové výkony 6 kWp, 7 kWp, 8 kWp, 9 kWp a 10 kWp.



Graf 6.1: Porovnání průběhu spotřeby domu s průběhem vyrobené elektřiny z FVE ⁶³

Pro každou velikost FVE elektrárny byly přibližně oceněny pořizovací náklady a na základě předběžné ekonomické analýzy bylo zjištěno, že nejvýhodnější návrh bude realizace výstavby FVE s velikostí instalovaného výkonu kolem 8 kWp.

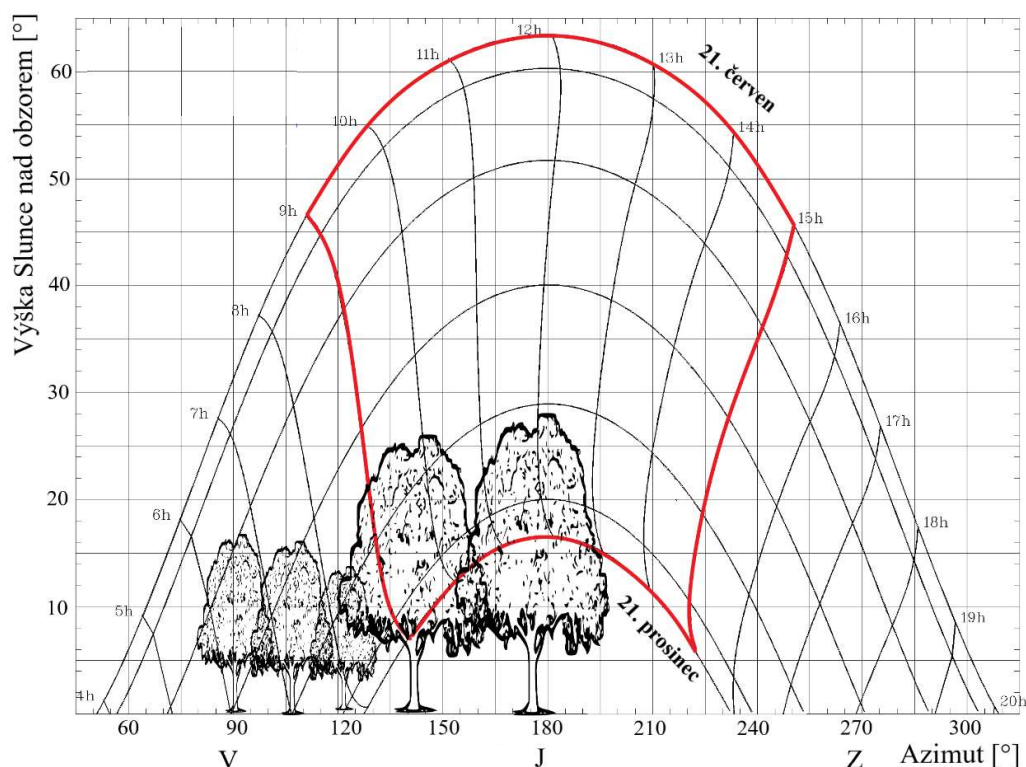
Před samotným návrhem FVE je nutné posoudit, je-li střecha domu dostatečně velká pro instalaci takového výkonu, staticky vhodná a jestli není v nějakých místech zastíněná.

6.1. Analýza zastínění

Posuzovat možné zastínění střechy je velmi důležité, protože i při zastínění pouze jednoho panelu dochází ke snížení výkonu u celého sériově propojeného řetězce. Proto je nutné před samotnou instalací vyhodnotit všechny potenciální zdroje stínu. V našem

⁶³ Vytvořeno autorem na základě dat z: EUROPEAN COMMISSION. *Photovoltaic Geographical Information System* [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP

případě by možné zastínění mohla představovat řada stromů, které jsou umístěny před samotným domem. Pro analýzu zastínění bude tato řada stromů zaznamenána do diagramu dráhy Slunce, ze kterého je možné posoudit vliv zastínění. Na uvažovaném místě instalace bylo provedeno orientační měření jednotlivých stromů, podle kterého bylo možné zjistit jejich výškový úhel. Na základě těchto údajů byly zaznamenány linie těchto stromů do diagramu dráhy Slunce pro danou lokalitu objektu. Zároveň bylo do grafu zakresleno i tzv. solární okno, které ohraničuje celoroční pohyb Slunce od 9:00 do 15:00 hodin. V této době bývá největší potenciál slunečního záření a je tedy potřebné, aby v této části bylo minimální zastínění.



Obrázek 6.2: Pohyb Slunce po obloze ⁶⁴

Na grafu lze vidět, že dva nejhůře situované stromy zasahují do zmiňované solárního okna a značně by omezovaly výrobu FVE v tomto období. Pokud by tyto dva stromy nebyly pokáceny, instalovaná FVE by v těchto měsících vyráběla minimum elektrické energie.

Nicméně velikost střechy domu by měla být pro instalaci FVE dostačující, jelikož lze využít obě její strany. Po odečtení nezbytných odstupů od okraje střechy vychází celková využitelná plocha na 114 m².

⁶⁴ Vytvořeno autorem za pomoci softwaru dostupného na: UO SOLAR RADIATION MONITORING LABORATORY. *Sun path chart program* [online]. 2007 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.html>

6.2. Technický návrh

Fotovoltaické panely

K instalaci FVE bude využito monokrystalických FV panelů od firmy AEG se špičkovým výkonem 360 W. Pro dosažení potřebného výkonu bude použito celkem 22 panelů, které dohromady poskytnou instalovaný výkon 7 920 W.

Typ	AS-M1203B-H-360
Maximální napětí (U_{mp}) [V]	33,49
Maximální proud (I_{mp}) [A]	10,75
Napětí naprázdno (U_{oc}) [V]	40,14
Proud nakrátko (I_{sc}) [A]	11,21
Účinnost [%]	19,5
Rozměry v × d × š [mm]	1765 × 1048 × 35
Hmotnost [kg]	20

Tabulka 6.1: Technické parametry FV panelu ⁶⁵

Střecha budovy má sedlový tvar se sklonem přibližně 3 °. Vzhledem k nízkému sklonu střechy je nutné FV panely přizvednout, protože by jinak nebyla zajištěna samočisticí schopnost. K přizvednutí FV panelů se využije nosná podpurná konstrukce. Na jihozápadní straně střechy se použije konstrukce o sklonu 17 ° a na protější straně o sklonu 22 °. Sklon FV panelů k vodorovné rovině bude tedy 20 °. Samotné ukotvení na plechovou střechu se provede za pomoci speciálních svorek, na které se poté zašroubují profily příčných nosníků. Celá konstrukce musí odolat silnému větru, a proto budou nosníky navíc zatíženy betonovým závažím. Váha celé instalace se bude pohybovat kolem jedné tuny a pro posouzení únosnosti střešní konstrukce bude nutné vyhotovit statický posudek.

Panely na střeše budou rozmístěny ve dvou řadách s horizontálním uchycením. Každá řada bude tvořit jeden samostatný řetězec, kde každý z řetězců bude tvořen sériovým propojením 11 panelů. Propojení mezi jednotlivými panely bude provedeno kabely, které jsou součástí FV panelů. Výkres střechy s navrženým umístěním panelů je uveden v příloze 10.

⁶⁵ SOLAR SOLUTIONS GmbH, SRN. *Photovoltaic module AS-M1203B* [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: https://www.aeg-industrialsolar.de/wp-content/uploads/AS-M1203B-H_M6_2020-08_9BB_V1_EN.pdf

Pro vyvedení výkonu ke střídači musí být dle normy ČSN EN 50618 – *Elektrické kabely pro fotovoltaické systémy*, použit solární kabel typu H1Z2Z2-K. Potřebný průřez kabelu se určí dle následujícího vztahu:

$$S = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\gamma \cdot u_{\%} \cdot U} = \frac{2 \cdot 30 \cdot 10,75}{56 \cdot 0,01 \cdot 368,39} = 3,1 \quad [\text{mm}^2] \quad 6.1$$

kde:

l ...délka vodiče [m]

I ...proud [A]

γ ...měrná vodivost mědi [$\text{m} \cdot \Omega^{-1} \cdot \text{mm}^{-2}$]

$u_{\%}$...procentní úbytek napětí [-]

U ...napětí [V]

Na koncové panely v řetězci budou tedy napojeny solární kabely s konektory MC4 o průřezu 4 mm². Ze střechy tyto kabely povedou do nově instalované rozvodnice, která bude vybavena jistíci prvky stejnosměrné a střídavé strany. Tato kombinovaná rozvodnice bude závěsného typu a bude umístěna vedle domovního rozvaděče. Dále bude spolu s nosnou konstrukcí panelů uzemněna na stávající zemnicí systém vodičem CYA o průřezu 16 mm².

Jištění stejnosměrné části

Norma ČSN 33 2000-7-712 ed.2 – *Elektrické instalace nízkého napětí – Část 7-712: Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech – Fotovoltaické (PV) systémy* (dále jen „norma ČSN 33 2000-7-712“), udává řešení ochrany proti nadproudům a klade požadavek na bezpečné odpojení fotovoltaického systému od měniče. Splnění všech požadavků na jištění stejnosměrné části se zajistí pojistkovým odpojovačem a stejnosměrným odpínačem. Příslušné pojistky pro odpojovač se určí podle následujících výpočtů.

Nejnižší jmenovité napětí pojistky:

$$U_{np} \geq K_U \cdot n \cdot U_{OC} \geq 1,11 \cdot 11 \cdot 40,14 \geq 490,1 \quad [\text{V}] \quad 6.1$$

kde:

U_{OC} ...napětí naprázdno [V]

n ...počet sériově zapojených panelů [-]

K_U ...korekční součinitel [-]

NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY

Korekční součinitel K_U se určí dle následujícího vztahu:

$$K_U = 1 + \frac{\alpha U_{OC}}{100} \cdot (T_{min} - 25) \quad [-] \quad 6.2$$

kde:

αU_{OC} ... variační teplotní koeficient modulu [$\% \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$]

T_{min} ... nejnižší teplota v místě FV instalace [$^\circ\text{C}$]

Nejnižší jmenovitý proud pojistky:

$$I_{np} \geq k_I \cdot I_K \geq 1,3 \cdot 11,21 \geq 14,6 \quad [\text{A}] \quad 6.3$$

kde:

I_K ... proud nakrátko [A]

k_I ... korekční součinitel [-]

Vývody obou řetězců budou vybaveny pojistkovým odpojovačem typu EFH 10 DC s válcovými pojistkami typu PC10 s jmenovitým proudem 16 A, charakteristikou gPV a jmenovitým napětím 1000 V. Samotné odpínání stejnosměrné části bude provedeno odpínačem typu OTDC25F4 s jmenovitým proudem 25 A a jmenovitým napětím 660 V.

Střídač

Fotovoltaická elektrárna bude vybavena síťovým trojfázovým střídačem typu SYMO 4.5-3-M od firmy Fronius International GmbH, SRN. Jedná se o beztransformátorový střídač s dvěma MPPT regulátory.

Max. výkon FV generátoru [kWp]	9
Rozsah vstupního napětí DC [V]	150–1000
Max. vstupní proud [A]	16 / 16
Rozsah napětí MPP [V]	150–800
Počet DC vstupů [-]	2
Výstupní proud AC [A]	6,5
Účinnost Euro [%]	97,2

Tabulka 6.2: Technické parametry střídače ⁶⁶

⁶⁶ FRONIUS INTERNATIONAL GmbH, SRN. *Datasheet Fronius Symo* [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/en/solar-energy/installers-partners/technical-data/all-products/inverters/fronius-symo/fronius-symo-4-5-3-m>

Wattrouter

Jedná se o programovatelný regulátor, který je určen pro optimalizaci vlastní spotřeby elektřiny. Tento regulátor vyhodnocuje data od proudové sondy umístěné před domovním elektroměrem. V případě nenulového proudu měřicím modulem zajistí regulátor sepnutí akumulčních spotřebičů. Tím omezuje nevýhodné odprodeje do sítě a maximalizuje využití vyrobené elektřiny.

Bude použit wattrouter od společnosti Solar controls s.r.o. s proudovým měřicím rozsahem 3×20 A. Regulátor je vybaven šesti interními vstupy, na které se připojí topná tělesa od bojleru a vytápěcí soustavy.

Jištění střídavé části

Normou ČSN 33 2000-7-712 je opět kladen požadavek na odpojení střídavé strany a na zajištění ochrany proti nadproudu a zkratu. V systémech, ve kterých není zajištěno galvanické oddělení obou částí, musí být navíc použit i proudový chránič typu B. Tento typ chrániče reaguje i na nezvládnutý proud a v případě nějaké poruchy je tedy schopen zamezit průniku stejnosměrného proudu do střídavé části.

Odpínání střídavé části bude provedeno třípólovým odpínačem typu OT25F3 s jmenovitým proudem 25 A a jmenovitým napětím 750 V. Ochrana proti nadproudu a zkratu bude zajištěna jističem typu S203-C16 s jmenovitým proudem 3×16 A a jmenovitým napětím 400 V. Jelikož je střídač beztransformátorového typu, musí být systém vybaven i zmiňovaným proudovým chráničem. Na střídavé části bude tedy instalován proudový chránič Ev31-40-B s jmenovitým reziduálním proudem 30 mA, typ B. Propojení celé střídavé strany bude realizováno kabelem CYKY-J 5×6 mm².

Ochrana proti přepětí

Pro objekty neopatřené vnější ochranou proti blesku je normou ČSN 33 2000-7-712 ukládána povinnost chránit FV systém proti přepětí. Tato ochrana se zajišťuje pomocí svodičů napětí, které vzniklé přepětí omezí na bezpečnou hodnotu. Svodiče přepětí musí být dimenzovány tak, aby v rámci instalace nebylo překročeno jejich maximální trvalé provozní napětí.

Pro ochranu stejnosměrné části budou použity svodiče typu 2 s maximálním trvalým napětím 530 V od firmy Citel Electronics GmbH, SRN. Pro omezení přepětí ze střída-

vé části bude použit kombinovaný svodič typu 1 + 2 s maximálním trvalým napětím 255 V. Propojení svodičů k zemní soustavě bude provedeno vodičem CYA 16 mm².

Jednopolové schéma navrhované FVE je uvedeno v příloze 11.

6.3. Legislativa upravující připojení fotovoltaických elektráren

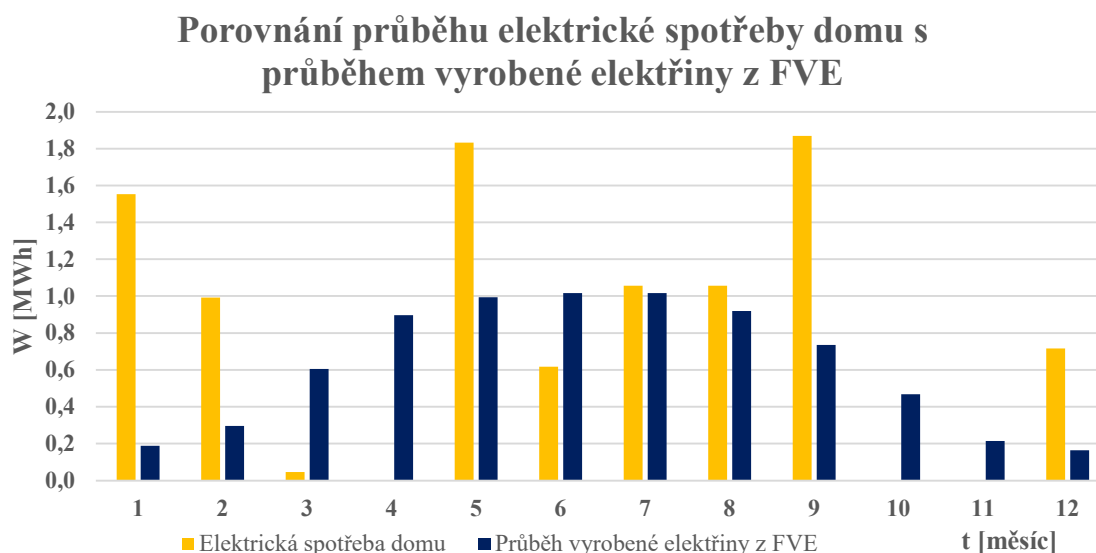
Hlavním zákonem zabývajícím se výrobou, přenosem, distribucí a odběrem elektrické energie je Energetický zákon č. 458/2000 Sb., *o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)*, ve znění pozdějších předpisů (dále jenom „zákon“). Z novely § 3 tohoto zákona vyplývá, že jestliže není ve stejném odběrném místě připojena jiná výrobní elektrárna držitele licence, nevyžaduje se od výroby elektrické energie s instalovaným výkonem do 10 kW licence od Energetického regulačního úřadu. Nicméně každý zdroj, který je připojen do české elektrizační soustavy, musí být řádně zasmluvněn s lokální distribuční společností. (DS)

Před samotnou výstavbou FVE je tedy nutné poslat žádost provozovateli DS o schválení připojení FVE. Provozovatel DS posoudí žádost o připojení a do 30 dnů má povinnost podat vyjádření k této žádosti. V případě vydání souhlasného stanoviska k této žádosti se uzavře s provozovatelem DS smlouva o připojení výrobní elektrárny k distribuční soustavě. Po uzavření smlouvy o připojení stačí už jenom podat žádost k uzavření smlouvy o výkupu elektrárny.

Příjmy získané z výkupu elektrárny jsou považovány dle § 10 zákona č. 586/1992 Sb., *o daních z příjmů*, ve znění pozdějších předpisů, za ostatní příjmy a jestliže nepřesáhnou v úhrnu s příjmy z příležitostných činností, z nájmu movitých věcí či ze zemědělské výroby, lesního a vodního hospodářství částku 30 000 Kč za rok, jsou osvobozeny od daně z příjmů.

7. Ekonomické vyhodnocení projektu

Pro ekonomické zhodnocení je nejprve nutné zjistit kolik vyrobené elektřiny se využije v domě, a kolik se prodá do sítě. Následující graf znázorňuje výrobu FVE v závislosti na předpokládané spotřebě domu.



Graf 7.1: Porovnání výroby FVE s elektrickou spotřebou domu ⁶⁷

Odhadovaný roční přínos elektrické energie z navrhované FVE je 7 512 kWh. Při počítání s 85% využitím vyrobené energie vychází, že z celkové vyrobené energie se na vlastní spotřebu domu využije pouze 4 417 kWh. To odpovídá přibližně 60% využití. Pro ekonomické zhodnocení bude počítáno s tím, že elektřina pro vlastní spotřebu bude z 85 % spotřebována v nízkém tarifu.

Celková výroba elektřiny [kWh]	Celková úspora elektřiny [kWh]	Úspora elektřiny v NT [kWh]	Úspora elektřiny ve VT [kWh]
7 512	4 229	3 594	634
Přetoky do DS [kWh]	Výkupní cena [Kč·kWh ⁻¹]	Úspora NT [Kč·kWh ⁻¹]	Úspora VT [Kč·kWh ⁻¹]
3 283	0,30	2,40	2,51

Tabulka 7.1: Vstupní parametry pro ekonomické zhodnocení FVE ⁶⁸

⁶⁷ Vytvořeno autorem na základě dat z: EUROPEAN COMMISSION. *Photovoltaic Geographical Information System* [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP

⁶⁸ Vytvořeno autorem

7.1. Investiční výdaje

Do pořizovacích výdajů byly zahrnuty veškeré investice spojené s výstavbou FVE. Náklady na pořízení všech potřebných komponentů vychází z ceníků jednotlivých výrobců. Do výdajů byla také zahrnuta cena za práci na pokácení stromů, která by se měla pohybovat kolem 2 000 Kč. Cena za montáž a vstupní revizi byla určena firmou FTZ, s.r.o., na 30 000 Kč. Všechny ceny jsou uváděné bez daně z přidané hodnoty (DPH).

Komponent	Počet [ks]	Cena [Kč·ks ⁻¹]	Částka [Kč]
Solární panel AS-M1203B-H-360	22	3 266,31	71 858,82
Střídač Fronius Symo 4.5-3-M	1	32 421,57	32 421,57
Wattrouter ECO	1	4 819,83	4 819,83
Plastová rozvodnice Gemini vel. 2	1	3 175,27	3 175,27
Odpojovač EFH-10-DC	2	231,36	462,72
Pojistková vložka PC10	4	100,83	403,32
Odpínač OTDC25F4	1	1 644,66	1 644,66
Odpínač OT25F3	1	377,00	377,00
Jistič S203-C16	1	240,69	240,69
Proudový chránič Ev31-40-B	1	3 123,97	3 123,97
Svodič DS50PVS-500	2	1 787,60	3 575,2
Svodič DS133RS-230	1	2 679,34	2 679,34
Kabely a elektroinstalační materiál	1	2 000,00	2 000,00
Elektroměr Fronius Smart Meter 63A-3	1	5 357,85	5 357,85
Konstrukce pro FV panely	1	29 656,20	29 656,20
Práce na pokácení stromů	1	2 000,00	2 000,00
Montáž a revize	1	30 000,00	30 000,00
Cena za projekt	1	9 000,00	9 000,00
Celkové investiční výdaje			202 796,44

Tabulka 7.2: Investiční výdaje na výstavbu FVE ⁶⁹

⁶⁹ Vytvořeno autorem

7.2. Ekonomická kritéria

Pro ekonomické vyhodnocení bude využito těchto tří ekonomických kritérií.

1) Čistá současná hodnota

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN \quad [\text{Kč}] \quad 7.1$$

kde:

T ...doba životnosti projektu [rok]

CF_t ...peněžní tok daného roku t [Kč]

r ...diskont [-]

IN ...investiční výdaj [Kč]

2) Vnitřní výnosové procento

$$\sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - IN = 0 \quad [\%] \quad 7.2$$

kde:

IRR ...vnitřní výnosové procento [%]

3) Reálná doba návratnosti

$$\sum_{t=1}^{T_s} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN = 0 \quad [\text{rok}] \quad 7.3$$

kde:

T_s ...doba návratnosti [rok]

Ekonomický model bude počítán na 25 let, což odpovídá technické životnosti FVE. Dále bude uvažováno, že pořizovací výdaj na výstavbu bude uhrazen z vlastních zdrojů. Diskont celého projektu je zvolen na 4 %, což odpovídá očekávanému zhodnocení investora. Samotný výpočet peněžního toku pro jednotlivé roky (CF) se stanoví jako rozdíl ročních příjmu a výdajů. Do výdajů bude započítána pravidelná revize, pojištění a v 15 roku životnosti FVE bude také započítán výdaj na obměnu střídače. Dále bude také počítáno s demontáží FVE po skončení jejího provozu.

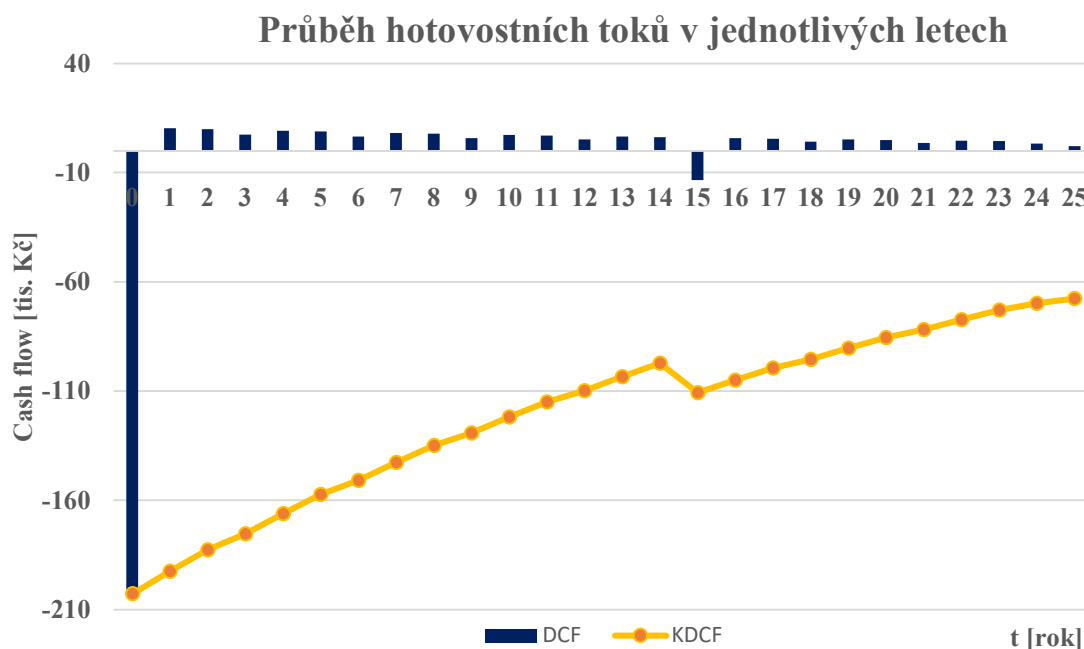
EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ PROJEKTU

NPV [Kč]	IRR [%]	Reálná doba návratnosti [rok]
-67 671,94	0,29	–

Tabulka 7.3: Vyhodnocená ekonomická kritéria ⁷⁰

Vypočítaná hodnota NPV [Kč] je záporná, což znamená, že pro výše zmíněné předpoklady by byl projekt ztrátový. Hodnota NPV [Kč] by se dostávala do kladných hodnot jen pro diskont menší než 0,29 %.

Na následujícím grafu je znázorněn vývoj diskontovaných peněžních toků (DCF) v průběhu celé životnosti FVE.



Graf 7.2: Vývoj ročních hotovostních toků v průběhu životnosti FVE ⁷¹

V grafu je také zobrazen průběh kumulovaného diskontovaného cash flow (KDCF), který ukazuje, jak se počáteční investice postupně splácí. Nicméně z grafu je zřejmé, že nikdy nedosáhne kladných hodnot a investice tedy nemá žádnou reálnou dobu návratnosti.

Dále bude také ekonomicky vyhodnocena varianta s dotací, o kterou je možné požádat v rámci programu Nová zelená úsporám. Jelikož k získání dotace je zapotřebí využít minimálně 70 % vyrobené elektřiny, bude muset být počítáno s tím, že se bude pře-

⁷⁰ Vytvořeno autorem

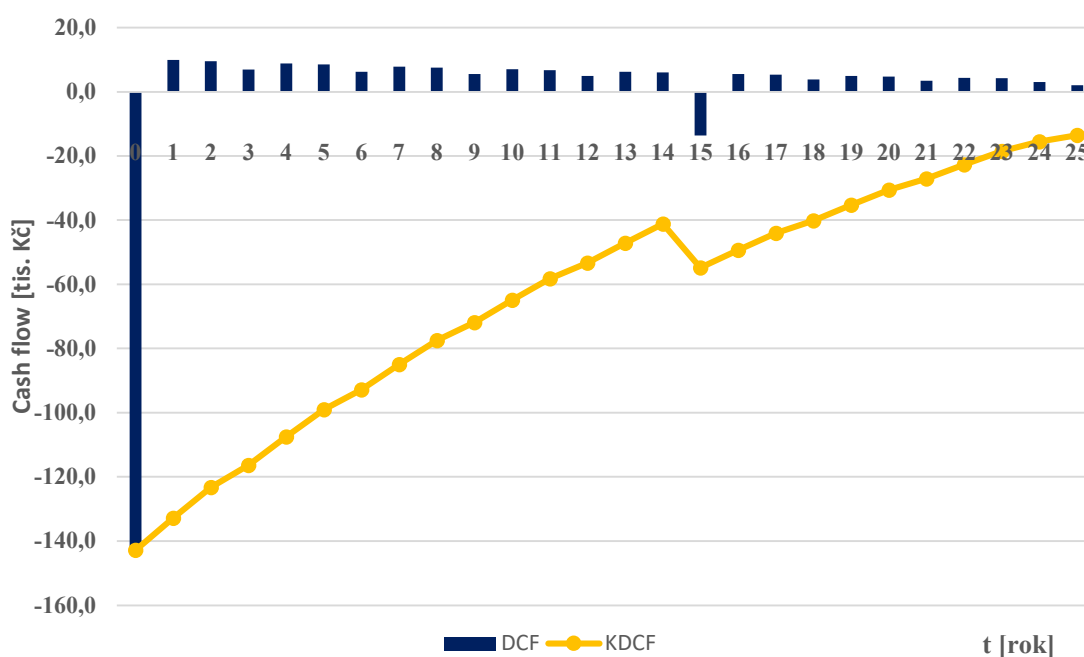
⁷¹ Vytvořeno autorem

směrovávat vyrobená energie na vytápění i v jarních měsících. Tím se zajistí splnění požadavku a bude moci být čerpána dotace v celkové výši 60 000 Kč ⁷². Pro březen a duben nebude tedy počítáno s příjmem z přetoků a ani s žádnou úsporou energie.

Celková úspora elektřiny [kWh]	Úspora elektřiny v NT [kWh]	Úspora elektřiny ve VT [kWh]	Přetoky do DS [kWh]
4 229	3 594	634	2 047

Tabulka 7.4: Vstupní parametry pro ekonomické zhodnocení varianty s dotací ⁷³

Průběh hotovostních toků v jednotlivých letech



Graf 7.3: Vývoj ročních hotovostních toků při započítání dotace ⁷⁴

⁷² RESORT ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Nová zelená úsporám: Závazné pokyny pro žadatele RD* [online]. [cit. 2021-4-28]. s. 27 a 28. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/dokumenty/detail/?id=591>

⁷³ Vytvořeno autorem

⁷⁴ Vytvořeno autorem

NPV [Kč]	IRR [%]	Reálná doba návratnosti [rok]
-13 464,75	3,02	–

Tabulka 7.5: Vyhodnocená ekonomická kritéria ⁷⁵

Započítání dotace snížilo velikost investičního výdaje na výstavbu FVE, což vedlo ke zvětšení hodnoty NPV [Kč]. Nicméně i přesto je hodnota NPV [Kč] záporná a reálná doba návratnosti tohoto projektu neexistuje ani po započítání dotace. Je to dáno hlavně tím, že v domě není zajištěn celoroční odběr elektrické energie a nenastává tak velká úspora elektřiny. Další aspekty negativně ovlivňující ekonomickou stránku je oproti jiným typům střech drahá konstrukce a výhodná distribuční sazba na elektrické vytápění D45d. Vnitřní výnosové procento u varianty s dotací je rovno 3,02 %.

Co se týče samotné proveditelnosti projektu, bylo by nutné před samotnou výstavbou FVE zhodnotit únosnost střechy statikem. Nicméně vzhledem k dobrému stavu střechy by nejspíše byla výstavba FVE technicky proveditelná. Pro získání maximálního energetického výnosu z FVE by bylo dále nutné pokácet zmiňované stromy. Orientaci a sklon navrhované FVE lze považovat za vhodný, jelikož ztráty oproti ideálnímu umístění se budou pohybovat do 5 %.

⁷⁵ Vytvořeno autorem

8. ZÁVĚR

Tato bakalářská práce poskytla čtenáři náhled do problematiky fotovoltaických elektráren a ukázala praktický návrh fotovoltaického systému pro konkrétní objekt. V teoretické části bylo pojednáno o principu fotovoltaické přeměny a o základních typech fotovoltaických článků. Dále byly představeny typy fotovoltaických systémů, jejich využití a jejich základní komponenty.

Praktická část této práce se nejprve zabývala určením předpokládané elektrické spotřeby na ohřev teplé vody, vytápění a na provoz běžných domácích spotřebičů. K určení elektrické spotřeby na vytápění byla vypočítána tepelná ztráta domu a za pomoci denostupňové metody byla určena přibližná potřeba tepla na předpokládaný provoz domu v otopném období. Na tuto část práce se poté navázalo samotným návrhem fotovoltaické elektrárny. Vzhledem ke specifickému provozu domu byl zvolen fotovoltaický systém pro vlastní spotřebu s možností ukládání přebytků do ohřevu teplé vody a do vytápění. Následně byly vybrány vhodné komponenty fotovoltaické elektrárny a byl ukázán správný postup při dimenzování jistících prvků a přepětových ochran. Samotný technický návrh byl proveden v souladu s platnými českými normami a splňuje veškeré požadavky kladené na instalace s fotovoltaickým systémem. V poslední kapitole byla posouzena proveditelnost výstavby a ekonomické zhodnocení navrhované fotovoltaické elektrárny. Lze tedy konstatovat, že bakalářská práce splnila jak teoretické, tak i praktické body zadání.

Přínosem této bakalářské práce je to, že poskytla investorovi informaci o energetické náročnosti daného historického domu a zhodnotila předpokládanou výstavbu fotovoltaické elektrárny. Roční spotřeba elektrické energie na uvažovaný provoz domu byla přibližně určena na 10 MWh. I přesto, že má dům potenciál na využití vyrobené elektrické energie, nepřinesla by instalace fotovoltaické elektrárny finanční úsporu, jelikož v domě není zajištěn celoroční odběr elektrické energie, což v dobách nízkých výkupních cen má zásadní roli na ekonomickou stránku projektu. Bakalářská práce také dále ukázala, jak je u výstavby fotovoltaické elektrárny důležité brát v úvahu možné zastínění stromy vlivem nízké výšky Slunce nad obzorem v zimních měsících.

ZÁVĚR

Z ekonomického posouzení vyšlo, že celkový investiční výdaj na výstavbu fotovoltaické elektrárny by se pohyboval kolem 200 000 Kč bez DPH. Získáním dotace by se pořizovací výdaj snížil o 60 000 Kč. Nicméně ani tak by čistá současná hodnota investice nedosáhla kladný hodnot a reálná doba návratnosti projektu pro zvolený diskont neexistuje.

Doporučení autora práce je tedy výstavbu fotovoltaické elektrárny nerealizovat a to z důvodu drahé a technicky složité nosné konstrukce, nízké finanční úspore vlivem výhodné distribuční sazby D45d a nutnosti pokácení stromů. Jelikož větší zateplení domu by bylo problematické, nezbyvá investorovi nic jiného než počítat s většími náklady na elektrickou energii.

Při vypracování této práce se autor seznámil s technickými a legislativními požadavky vztahující se k výstavbě fotovoltaické elektrárny a získal vědomosti spjaté s kompletním návrhem fotovoltaického systému. Dalším přínosem byla práce s projekčním programem na výpočet tepelných ztrát domu a získání povědomí o energetické náročnosti historických budov. I přesto, že se projekt neukázal jako rentabilní, lze v obecné rovině konstatovat, že efektivní využívání energie ze Slunce patří mezi největší výzvy současné globální energetické politiky.

9. SEZNAM LITERATURY

- [1] BECHNÍK, Bronislav. *Historie a perspektivy OZE – fotovoltaika, technologie krystalického křemíku* [online]. 2009. [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5470-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-technologie-krystalickeho-kremiku>
- [2] BENDA, Vítězslav, Kamil STANĚK a Petr WOLF. *Fotovoltaické systémy* [online]. 2011 [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/10537342-Fotovoltaicke-systemy.html>
- [3] BENDA, Vítězslav. *Hlavní vývojové trendy ve fotovoltaice* [online]. 2019 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/fotovoltaika/hlavni-vyvojove-trendy-ve-fotovoltaice>
- [4] BERMUDEZ, Veronica a Alejandro PEREZ-RODRIGUEZ. *Understanding the cell-to-module efficiency gap in Cu(In,Ga)(S,Se)₂ photovoltaics scale-up* [online]. 2018, , 466–475 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: doi:10.1038/s41560-018-0177-1
- [5] BIDLI holding, a.s. *Tisková zpráva* [online]. 11. 2. 2021 [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <http://www.crestcom.cz/cz/tiskova-zprava/?id=2980>
- [6] BROŽ, Karel. *Vytápění*. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN isbn80-01-01313-8.
- [7] ČERVENKA, Milan. *Energie ze Slunce. Aldebaran* [online]. Praha: AGA (Aldebaran Group for Astrophysics), 2004 [cit. 2020-12-16]. Dostupné z: https://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_22_sun.php
- [8] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 458/2000 Sb., Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). In: *Sbírka zákonů*. Praha: Ministerstvo vnitra ČR, 2000, částka 131.

SEZNAM LITERATURY

- [9] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 586/1992 Sb., Zákon o daních z příjmů. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Ministerstvo financí ČR, 1992, částka 117.
- [10] ČEZ Prodej, a.s. *Ceník* [online]. 2020 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2021/moo/web-new-cenik-elektrina-dobu-neurcitou-moo-2020-12-cezdi.pdf>
- [11] ČHMÚ. *Denní data dle zákona 123/1998 Sb.* [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/Denni-data-dle-z.-123-1998-Sb#>
- [12] ČSN EN 12831-3. *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 3: Tepelný výkon pro soustavy teplé vody a charakteristika potřeb, Modul M8-2, M8-3*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, prosinec 2018.
- [13] ČSN EN 12831-1. *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, září 2018.
- [14] ČSN EN 50618. *Elektrické kabely pro fotovoltaické systémy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, říjen 2015.
- [15] ČSN 33 2000-7-712 ED. 2. *Elektrické instalace nízkého napětí – Část 7-712: Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech – Fotovoltaické (PV) systémy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, říjen 2016.
- [16] ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, listopad 2005.

- [17] DIEZEL, Chris. *The Effect of Wavelength on Photovoltaic Cells* [online]. Sciencing, 2020 [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://sciencing.com/effect-wavelength-photovoltaic-cells-6957.html>.
- [18] EUROPEAN COMMISSION. Návrh nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. ř. 2020/0036/COD ze dne 04.03.2020, kterým se stanoví rámec pro dosažení klimatické neutrality a mění nařízení (EU) 2018/1999 o správě energetické unie. In: *Úřední věstník*. COM(2020) 80 final, 4. 3. 2020. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1588581905912&uri=CELEX%3A52020PC0080>
- [19] EUROPEAN COMMISSION. *Photovoltaic Geographical Information System* [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP
- [20] FEKT VUT v Brně. Studijní materiály [online]. Brno, 2016 [cit. 2021-01-14]. Dostupné z: https://www.fekt.vut.cz/merkur/podklady/2016_Zavod_se_sluncem.pdf
- [21] FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS ISE. *Photovoltaics report* [online]. Freiburg: 2020 [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>
- [22] FRONIUS INTERNATIONAL GmbH, SRN. *Datasheet Fronius Symo* [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/en/solar-energy/installers-partners/technical-data/all-products/inverters/fronius-symo/fronius-symo-4-5-3-m>
- [23] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.

SEZNAM LITERATURY

- [24] HRZINA, Pavel. *Fotovoltaické systémy připojené k elektrické síti* [online]. Laboratoř fotovoltaických systémů a elektrochemických zdrojů, ČVUT FEL v Praze, 2016 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: http://pasan.feld.cvut.cz/a1b13svs/2016_svs6a.pdf
- [25] JOSIP, KLECZEK. *Sluneční energie na Zemi* [online]. Astronomický ústav AV ČR Ondřejov, 2003 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/1312-povidani-o-energii-slunecni-energie-na-zemi>
- [26] KOREL, Jan. *Projektování a měření přídavného uzemnění vedení VVN a ZVN* [online]. 2020 [cit. 2021-03-26]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10467/86031>. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Mgr. Ing. Vít Klein, Ph.D.
- [27] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Solární energie: fotovoltaika – perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti*. V Praze: ČZU, 2005. ISBN 80-213-1335-8.
- [28] LIMBERK, Ondřej. *Solární energetika v České republice* [online]. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE [cit. 2020-12-23]. s. 1. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/10-limberk.pdf>
- [29] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK, a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2
- [30] MORAVEC, Jan. *Polovodiče: Základy polovodičové techniky*. O energetice [online]. 2016 [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/polovodice-zaklady-polovodicove-techniky>
- [31] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika, elektřina ze slunce*. Brno: ERA, 2007. 21. století. ISBN 978-80-7366-100-

- [32] OSMAN, Mobark a Zafer ALIBABA. *Comparative Studies on Integration of Photovoltaic in Hot and Cold Climate. Scientific Research Journal* [online]. 2015 [cit. 2021-03-11]. ISSN 2201-2796. Dostupné z: <http://www.scirj.org/papers-0415/scirj-P0415251.pdf>
- [33] PRAŽSKÁ ENERGITIKA, a.s. *Orientační hodnoty spotřeby* [online]. Praha, 2013 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.premereni.cz/Files/sluzby/pujcovani-mericich-zarizeni/meric-spotreby-elekriny/orientacni-hodnoty-spotreby-domacich-spotrebicu/>
- [34] RESORT ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Nová zelená úsporám: Závazné pokyny pro žadatele RD* [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/dokumenty/detail/?id=591>
- [35] RIDA, KS. *The impact of air mass on photovoltaic panel performance. Scientific and Engineering Research* [online]. USA, 2016 [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: doi:10.18282/ser.v1.i1.41
- [36] RIORDAN, C a R HULSTROM. *What is an air mass 1.5 spectrum. IEEE Conference on Photovoltaic Specialists* [online]. USA, 1990 [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: doi:10.1109/PVSC.1990.111784
- [37] SOLAR SOLUTIONS GmbH, SRN. *Photovoltaic module AS-M1203B* [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: https://www.aeg-industrialsolar.de/wp-content/uploads/AS-M1203B-H_M6_2020-08_9BB_V1_EN.pdf
- [38] THE WORLD BANK GROUP. *Global solar atlas* [online]. 2021 [cit. 2021-01-14]. Dostupné z: <https://globalsolaratlas.info>
- [39] UO SOLAR RADIATION MONITORING LABORATORY. *Sun path chart program* [online]. 2007 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.html>

10. SEZNAM POUŽITÝCH PROGRAMŮ

- [1] AUTODESK, Inc. *AutoCAD* [software]. [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/products/autocad/overview?term=1-YEAR>

- [2] GRAPHISOFT SE. *Educational Licenses* [software]. [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: <https://myarchicad.com>

- [3] K-CAD, spol. s r.o. *Teplo 2017* [software]. [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: <http://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/teplo/>

- [4] MICROSOFT CORPORATION. *Microsoft Excel* [software]. [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: <https://www.microsoft.com/cs-cz/microsoft-365/excel>

- [5] VIEGA s.r.o. *Projekční software* [software]. [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: <https://www.viega.cz/cs/podpora/software/software.html>

11. SEZNAM PŘÍLOH

- [1] Příloha 1: Půdorys 2. NP
- [2] Příloha 2: Výpočet tepelných ztrát pro vnitřní návrhovou teplotu 20 °C
- [3] Příloha 3: Výpočet tepelných ztrát pro vnitřní návrhovou teplotu 5 °C
- [4] Příloha 4: Výpočtový program TechCON
- [5] Příloha 5: Výpočtový program Teplo 2017
- [6] Příloha 6: Produktový list fotovoltaického panelu
- [7] Příloha 7: Produktový list střídače
- [8] Příloha 8: Určení elektrické energie na provoz domu
- [9] Příloha 9: Ekonomické vyhodnocení projektu
- [10] Příloha 10: Výkresová dokumentace – Dispoziční výkres střechy
- [11] Příloha 11: Výkresová dokumentace – Jednopolové schéma FVE
- [12] Příloha 12: Výkresová dokumentace – Dispoziční výkres sklepa

