

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2023

Bc. Lukáš Wiesner



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY**

**A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE**

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

## **NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY S BATERIOVÝM ÚLOŽIŠTĚM PRO RODINNÝ DŮM V LOKALITĚ ÚSTRAŠICE**

DESIGN OF A PHOTOVOLTAIC POWER PLANT WITH BATTERY STORAGE FOR A FAMILY HOUSE IN AREA  
ÚSTRAŠICE

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Lukáš Wiesner**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.**

**BRNO 2023**

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektrotechnická výroba a management**

Ústav elektrotechnologie

**Student:** Bc. Lukáš Wiesner

**ID:** 173781

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2022/23

**NÁZEV TÉMATU:**

## Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům v lokalitě Ústrašice

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Seznamte se s principem fotovoltaického děje. Provedte analýzu a rozbor používaných FV technologií. Navrhněte řešení FVE, včetně systému pro akumulaci elektrické energie do TUV, pro domácnost s využitím vyrobené energie. Vytvořte návrh systému pro částečné pokrytí vlastní spotřeby TUV s možností využití elektrických přebytků v letních měsících. Pomocí multikriteriální analýzy vyberte nejvhodnější komponenty pro realizaci soustavy. Kladte důraz na jednoduchost a modulárnost systému s co nejrychlejší návratností počáteční investice. U navrženého řešení proveďte ekonomickou a energetickou analýzu pomocí simulace provozu.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

Podle doporučení vedoucího práce.

**Termín zadání:** 6.2.2023

**Termín odevzdání:** 23.5.2023

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

**doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá návrhem fotovoltaické solární elektrárny pro vybraný rodinný dům v lokalitě Ústrašice na Táborsku. Teoretická část shrnuje problematiku fotovoltaického jevu, výrobu a rozdíly jednotlivých technologií pro fotovoltaické panely a různé druhy bateriových úložišť. Součástí práce jsou také legislativní a dotační podmínky v České republice spojené s problematikou FVE. V úvodu praktické části práce jsou obsaženy informace o dispozicích rodinného domu s analýzou dat spotřeby domácnosti za posledních pět let. Na analýzu navazuje výběr vhodného typu soustavy pro fotovoltaický ohřev vody. Za použití multikriteriální analýzy jsou následně zvoleny nejvhodnější regulátor a FV panely. Navržený systém je přehledně doplněn o další potřebné komponenty. V závěru je v programu PV\*SOL vytvořena simulace systému pro stanovení světelných podmínek a vyhodnocení hospodárnosti celého projektu.

## **Klíčová slova**

Sluneční energie, fotovoltaický jev, křemík, monokrystal, polykrystal, fotovoltaický panel, fotovoltaický ohřev vody, energetické přebytky, fotovoltaická elektrárna, PV\*SOL.

## **Abstract**

The master thesis covers the design of a photovoltaic solar power plant for a selected family house in Ústašice in Tábor's region. The theoretical part summarizes the photovoltaic phenomenon, production, and differences of various technologies of photovoltaic panels and different types of battery storages. The project also includes the legislative and subsidy conditions in the Czech Republic related to the PV topic. The practical part of the thesis starts with information about the layout of the family house with an analysis of household consumption data for the last five years. The analysis is followed by the selection of a suitable type of system for photovoltaic water heating. Using multi-criteria analysis, the most suitable solar controller and PV panels are then selected. The proposed system is updated with other necessary components. Finally, a simulation of the system is created in PV\*SOL to determine the lighting conditions and to evaluate the economics side of the entire project.

## **Keywords**

Solar energy, photovoltaic phenomenon, silicon, monocrystal, polycrystal, photovoltaic panel, photovoltaic water heating, energy surpluses, photovoltaic power plant, PV\*SOL.

## **Bibliografická citace**

WIESNER, Lukáš. *Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům v lokalitě Ústrašice*. Brno, 2023. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/152458>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie. Vedoucí práce Jiří Vaněk.

# Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení studenta:</b>	Bc. Lukáš Wiesner
<b>VUT ID studenta:</b>	173781
<b>Typ práce:</b>	Diplomová práce
<b>Akademický rok:</b>	2022/23
<b>Téma závěrečné práce:</b>	Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům v lokalitě Ústrašice

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 20. května 2023

-----  
podpis autora

# Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ .....	9
SEZNAM TABULEK.....	10
ÚVOD .....	11
<b>1. ENERGIE SLUNCE .....</b>	<b>12</b>
1.1 ZÁŘENÍ NA ZEMI .....	12
1.1.1 Přímé a difúzní záření.....	12
1.2 PODMÍNKY V ČR.....	12
<b>2. FOTOELEKTRICKÝ JEV .....</b>	<b>14</b>
2.1 HISTORIE A OBJEVITELÉ .....	14
2.2 PRINCIP A FUNKCE.....	14
<b>3. VÝROBA FV ČLÁNKŮ .....</b>	<b>16</b>
3.1 KŘEMÍK – Si.....	16
3.1.1 Výroba krystalického křemíku.....	16
3.2 KRYSTALICKÉ FV ČLÁNKY .....	16
3.2.1 Monokrystalické články.....	17
3.2.2 Polykrystalické články.....	18
3.3 SROVNÁNÍ TECHNOLOGIÍ FV ČLÁNKŮ.....	18
<b>4. VYHODNOCENÍ TRHU V ČR.....</b>	<b>19</b>
4.1 KLADY A ZÁPORY.....	19
4.1.1 Výhody fotovoltaických systémů v podmínkách ČR .....	19
4.1.2 Nevýhody fotovoltaických systémů v podmínkách ČR.....	20
4.2 STÁTNÍ DOTAČNÍ PROGRAMY .....	20
4.2.1 NZÚ – Podoblast C.2 - Příprava teplé vody.....	20
4.2.2 NZÚ – Podoblast C.3 - Fotovoltaické systémy .....	21
4.3 PODMÍNKY VYUŽITÍ FVE A LEGISLATIVA ČR.....	22
4.3.1 Energetická licence na provoz FVE.....	22
4.3.2 Umístění FVE na stavbě.....	22
4.3.3 Provedení a realizace FVE .....	22
4.3.4 Kolaudace a užívání FVS.....	23
<b>5. DISPOZICE RODINNÉHO DOMU V LOKALITĚ ÚSTRAŠICE.....</b>	<b>24</b>
5.1 DISPOZICE STAVBY.....	24
5.2 OSVITOVÉ PODMÍNKY.....	26
5.3 DISPOZICE DOMÁCNOSTI .....	26
<b>6. SPOTŘEBA DOMÁCNOSTI .....</b>	<b>28</b>
6.1 PŘÍPRAVA TUV A OTOP KOUPELNY.....	29
6.2 OSTATNÍ SPOTŘEBIČE .....	31
<b>7. FV SYSTÉM S PŘÍMOU AKUMULACÍ DO TUV.....</b>	<b>34</b>
7.1 VÝHODY FVS S PŘÍMOU AKUMULACÍ DO TUV .....	34

7.2	TYPY ZAPOJENÍ FV SOUSTAV NA OHŘEV VODY .....	35
7.2.1	<i>Ostrovní systém s jednou spirálou .....</i>	35
7.2.2	<i>Kombinovaný systém se dvěma spirálami .....</i>	36
7.2.3	<i>Kombinovaný systém s jednou spirálou a HDO .....</i>	37
7.2.4	<i>Kombinovaný systém se dvěma bojlerů .....</i>	37
7.3	VOLBA SYSTÉMU ZAPOJENÍ SOUSTAVY .....	39
<b>8.</b>	<b>REGULÁTOR PRO OHŘEV TUV .....</b>	<b>40</b>
8.1	PRŮZKUM TRHU .....	40
8.1.1	<i>Solární MPPT regulátor ECO Solar Green Boost MPPT-3000 3kW .....</i>	40
8.1.2	<i>Solární MPPT regulátor ECO Solar Boost MPPT-3000 PRO 3,5kW .....</i>	41
8.1.3	<i>Solární MPPT regulátor ECO Solar Boost MPPT-3000 3kW .....</i>	43
8.1.4	<i>Solární MPPT regulátor OPL 9AC 3 kW PUIT, se zobrazením veličin .....</i>	44
8.1.5	<i>Solar Kerberos 320.H 2kW .....</i>	45
8.1.6	<i>Regulátor napájení boileru ze solárních panelů MR4316AC NG .....</i>	46
8.2	MULTIKRITERIÁLNÍ ANALÝZA VÝBĚRU REGULÁTORU TUV .....	48
<b>9.</b>	<b>SOLÁRNÍ PANELE .....</b>	<b>51</b>
9.1	PRŮZKUM TRHU .....	51
9.1.1	<i>Amerisolar - AS-6P30-290W .....</i>	52
9.1.1	<i>Canadian Solar-HiKu CS3L-380MS .....</i>	52
9.1.2	<i>DAH Solar - DHM-T60X10/FS(BW)-460W .....</i>	53
9.1.1	<i>DAH Solar - DHM-T72X10/FS(SW)-555W .....</i>	54
9.2	MULTIKRITERIÁLNÍ ANALÝZA VÝBĚRU FV SOUSTAVY .....	54
<b>10.</b>	<b>ZAPOJENÍ SYSTÉMU S VYUŽITÍM PŘEBYTKŮ .....</b>	<b>57</b>
10.1	NEZBYTNÉ KOMPONENTY .....	58
10.1.1	<i>Kabely a konektory .....</i>	58
10.1.2	<i>DC odpínač OPVP10-1 .....</i>	58
10.1.3	<i>Přepět'ová ochrana .....</i>	58
10.1.4	<i>AC/DC wattmetr s pamětí W4320 .....</i>	59
10.1.5	<i>HDN 1524 .....</i>	59
10.1.6	<i>Relé PEM-01/24 .....</i>	60
10.1.7	<i>Bojler pro ohřev TUV .....</i>	60
10.1.8	<i>Topná tyč s analogovým termostatem .....</i>	61
10.2	MATERIÁLOVÁ ROZVAHA .....	61
<b>11.</b>	<b>NÁVRHOVÝ PROGRAM PV*SOL .....</b>	<b>62</b>
11.1	KONFIGURACE SYSTÉMU .....	62
11.2	3D NÁVRH A INTENZITA ZÁŘENÍ .....	63
11.3	HOSPODÁRNOST PROJEKTU .....	64
11.4	VÝSTUPNÍ PROTOKOL .....	66
<b>12.</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>67</b>
	<b>LITERATURA .....</b>	<b>69</b>
	<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>74</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>76</b>



# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Roční průměrný úhrn doby trvání slunečního svitu v hodinách, roční průměrný úhrn slunečního záření v MJ/m <sup>2</sup> a v kWh/m <sup>2</sup> [1] .....	13
2.1	Konstrukce a princip činnosti FV článku [12].....	15
3.1	Proces výroby krystalických FV článků [14] .....	17
3.2	Srovnání technologií FV článků. Vlevo monokrystalický, vpravo polykrystalický [17] .....	18
5.1	Geografická orientace stavby [27].....	24
5.2	Jihovýchodní pohled [27].....	25
5.3	Severozápadní pohled [27].....	25
5.4	Jihozápadní pohled [27] .....	26
5.5	Půdorys [27].....	27
6.1	Graf měsíční spotřeby elektrické energie v domácnosti.....	28
6.2	Porovnání měsíční spotřeby energie v letech 2021 a 2022.....	29
6.3	Procentuální zastoupení spotřeby v rámci měsíce .....	30
7.1	Ostrovní systém s jednou spirálou [31] .....	35
7.2	Kombinovaný systém se dvěma spirálami [31].....	36
7.3	Kombinovaný systém s jednou spirálou a HDO [31].....	37
7.4	Kombinovaný systém s dvěma bojleru [31].....	38
8.1	Solární MPPT regulátor ECO Solar Green Boost MPPT-3000 3kW [33] .....	40
8.2	Solární regulátor ECO Solar Boost MPPT-3000 PRO 3,5kW [35].....	41
8.3	Solární MPPT regulátor ECO Solar Boost MPPT-3000 3kW [37] .....	43
8.4	Solární MPPT regulátor OPL 9AC 3 kW PUIT [39] .....	44
8.5	Solar Kerberos 320.H 2kW [45][46] .....	45
8.6	Regulátor napájení bojleru MR4316AC NG [48] .....	46
9.1	Jihozápadní pohled– plocha k instalaci FV soustavy [27].....	55
10.1	Kombinovaný systém se dvěma bojleru a využitím přebytků [31] .....	57
10.2	Vnitřní zapojení Relé PEM-01/24 [65] .....	60
11.1	Měsíční profil spotřeby bojleru v kWh .....	62
11.2	Hodinový profil bojleru v procentech z celkové denní spotřeby.....	63
11.3	3D model rodinného domu s FV panely.....	63
11.4	Simulace zastínění FV panelů .....	64
11.5	Kumulovaný finanční tok.....	65
11.6	Měsíční úspora nákladů na energii .....	66
11.7	Vývoj nákladů na energii.....	66

# SEZNAM TABULEK

3.1	Srovnání technologií FV článků [18][19][20].....	18
4.1	Výše podpory pro podoblast C.3 - Fotovoltaické systémy [25] .....	21
6.1	Průměrná roční spotřeba elektrické energie v domácnosti .....	28
6.2	Spotřeba bojleru a elektrického radiátoru v kWh .....	30
6.3	Procentuální zastoupení spotřeby v rámci měsíce .....	30
6.4	Požadavek na množství teplé vody v průběhu dne .....	31
6.5	Elektrospotřebiče v domácnosti .....	31
6.6	Denní harmonogram idealizovaného dne, využití přístrojů a jejich spotřeba.....	32
8.1	Specifikace ECO Solar Green Boost MPPT-3000 3kW [34] .....	41
8.2	Specifikace ECO Solar Boost MPPT-3000 PRO 3,5kW [36] .....	42
8.3	Specifikace ECO Solar Boost MPPT-3000 3kW [38].....	43
8.4	Specifikace MPPT regulátoru OPL 9AC 3 kW PUIT [40] .....	45
8.5	Specifikace MPPT regulátoru Solar Kerberos 320.H 2kW [46][47] .....	46
8.6	Specifikace MPPS regulátoru BEL MR4316AC NG [48] .....	48
8.7	Zvolená kritéria hodnocení pro výběr regulátoru .....	48
8.8	Bodovací stupnice pro jednotlivá kritéria.....	49
8.9	Vlastnosti regulátorů na základě kritérií.....	49
8.10	Bodové hodnocení regulátorů s celkovými výsledky. ....	50
9.1	Specifikace Amerisolar - AS-6P30-290W [54][55] .....	52
9.2	Specifikace Canadian Solar – HiKu CS3L-380MS [56][57].....	53
9.3	Specifikace DAH Solar - DHM-T60X10/FS(BW)-460W [58][59] .....	53
9.4	Specifikace DAH Solar - DHM-T72X10/FS(SW)-555W [60][61].....	54
9.5	Zvolená kritéria hodnocení pro výběr FV soustavy .....	55
9.6	Bodovací stupnice pro jednotlivá kritéria.....	55
9.7	Vlastnosti FV panelů na základě kritérií .....	56
9.8	Bodové hodnocení FV panelů s celkovými výsledky.....	56
10.1	Kusovník potřebného materiálu .....	61

# ÚVOD

Moderní styl života je úzce spjatý s využíváním nejrůznějších energií, v jejichž čele je energie elektrická. Již těžko si dokážeme představit život bez této všestranné energie. Její výroba se v posledních letech stále více dostává do diskusí ve všech společenských rovinách. Ať už se jedná o cenu elektrické energie, udržitelnost výroby s ohledem na životní prostředí nebo energetickou nezávislost na ostatních státech. V tomto smyslu se diskutuje stále častěji o alternativních a udržitelných zdrojích energie. Jedním z nejznámějších a nejrozšířenějších alternativních způsobů získávání elektřiny je využití energie Slunce pomocí fotovoltaických panelů.

Fotovoltaický způsob výroby energie se těší oblibě hlavně díky své vysoké modularitě, nezávislosti, praktické bezúdržbovosti a dlouhé životnosti. V posledních letech se díky velkým investicím do této technologie zvýšila její účinnost, dostupnost a celková využitelnost. Světové státy podporují fotovoltaické zdroje energie jako lokální nezávislé obnovitelné zdroje elektrické energie.

Tato práce je zaměřena na návrh systému fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům v lokalitě Ústrašice na Táborsku. Dům prošel v posledních 15 letech rekonstrukcí, při které byly opraveny podlahy a celý interiér. Dále byla vyměněna nevhodná dřevěná okna za nová plastová. V poslední etapě byla renovována střecha a zatepleny stropy.

Kvůli stoupajícím cenám elektřiny a aktuální energetické krizi mají majitelé domu zájem o instalaci fotovoltaické elektrárny k výrobě elektrické energie primárně určené pro vlastní spotřebu. Na základě informací správce přenosové soustavy v dané lokalitě, ale není v současné době možné připojit do přenosové sítě nové FVE. Z tohoto důvodu je v práci důraz kladen především na ostrovní systém FVE či systém fotovoltaického ohřevu vody.

Za tímto účelem práce důkladně analyzuje data měsíční spotřeby elektřiny za posledních pět let. Praktická část také dále mapuje množství využívané energie jednotlivých spotřebičů v průběhu dne. Zvláště se pak zaměřuje na tepelné spotřebiče s vysokou mírou odběru. Výstupem energetické analýzy je stanovení denního profilu spotřeby.

Na základě energetické analýzy je po konzultaci s majiteli rozhodnuto o pokračování směrem k systému fotovoltaického ohřevu vody. Ze čtyř variant zapojení a konstrukce systému je zvolen kombinovaný systém se dvěma bojlerů. Bodovací metodou multikriteriální analýzy jsou následně vybrány klíčové komponenty systému – FV panely a regulátor. Celý systém je přehledně popsán a doplněn o nezbytné další komponenty.

Výstupem celé práce je vytvořený simulační protokol z programu PV\*Sol. Protokol obsahuje kompletní 3D návrh, zapojení systému a energetickou analýzu, stejně tak analýzu hospodárnosti projektu.

# 1. ENERGIE SLUNCE

Sluneční záření je jedním z nejdostupnějších zdrojů energie na Zemi. Sluneční záření obsahuje vlnové délky v celém rozsahu spektra. Nalézá se v něm rentgenové, ultrafialové, viditelné (380 nm až 720 nm), infračervené i rádiové vlnové délky záření. Největší podíl 60 % připadá na viditelné záření. Další 30 % představuje záření vyšších vlnových délek, které nazýváme infračervené a rádiové. Zbýlých 10 % představují krátkovlnná záření rentgenová a ultrafialová. [1][2][4]

Slunce je hvězdou naší Sluneční soustavy, s hmotností  $2 \cdot 10^{30}$  kg představuje asi 99,8 % její celkové hmotnosti. Průměr Slunce je  $1,4 \cdot 10^6$  km. Teplota povrchu slunce je kolem 5800 K a jeho odhadovaný výkon je  $3,8 \cdot 10^{26}$  W. Na Zemi dopadá zhruba  $1,7 \cdot 10^{17}$  W, což je jen malá část z celkové energie Slunce. Tok sluneční energie na Zemi je tedy asi  $1,367 \text{ kW/m}^2$ , tato hodnota je také označována jako solární konstanta. [1][2][4]

## 1.1 Záření na Zemi

Z celkového záření, které míří k planetě Zemi na její povrch dopadne jen jeho část. Přibližně 26 % se odrazí zpět od vrstvy atmosféry a mraků. Další 19 % energie je atmosférou pohlceno, čímž je atmosféra ohřívána. Zbýlých 51 % energie dopadá na povrch Země, která pohlcuje prakticky veškeré záření. Přesto se zhruba 4 % odráží zpět od povrchu Země. Atmosféra Země pohlcuje prakticky veškeré záření rentgenové a ultrafialové. Pronikající záření je tedy složeno ze záření viditelného (45 %), infračerveného (46 %) a rádiového (9 %). [1][2][4]

### 1.1.1 Přímé a difúzní záření

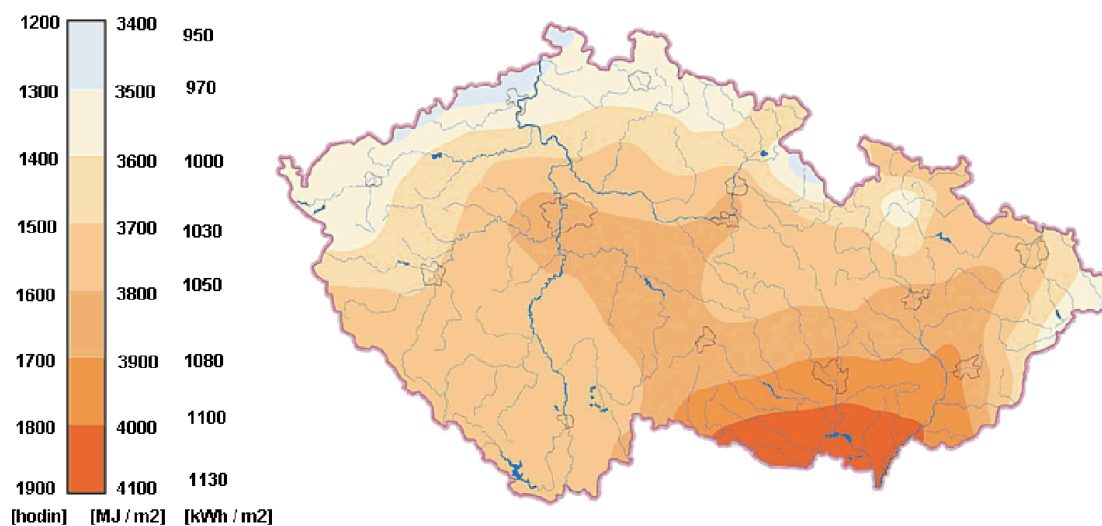
Záření, které dopadne až na povrch Země (51 %) je nazýváno globální sluneční záření. To obsahuje záření přímé a difúzní. Přímé záření si lze představit jako záření, které na zemský povrch dopadá přímo ze Slunce bez odrazů nebo rozptylu. Naproti tomu difúzní složka záření vzniká rozptylem přímého slunečního záření v atmosféře nebo odrazem od mraků, prachu nebo molekul plynů. Difúzní záření pak vlivem těchto odrazů či rozptylu dopadá na zemský povrch ze všech směrů. [1][2][4]

Celkové množství globálního záření v ČR závisí především na počasí a ročním období. Poměry zastoupení přímé a difúzní složky se také liší v závislosti na kvalitě ovzduší.

## 1.2 Podmínky v ČR

Pro výrobu elektrické energie z FV panelů jsou klíčovými faktory zejména intenzita, doba trvání a složení slunečního záření. Důležitý je také součinitel znečištění atmosféry. Tyto klíčové faktory jsou závislé hlavně na počasí a ročním období. V České republice

je průměrná doba trvání přímého slunečního svitu, bez oblačnosti, mezi 1 400 až 1 800 hodinami za rok. Podrobná mapa je vidět na obrázku 1.1. Zhruba tři čtvrtiny z této doby připadá na letní měsíce. Oblasti, které jsou nejvíce exponovány, jsou také zároveň oblastmi s největším energetickým potenciálem. V našich zeměpisných šířkách dopadá na povrch energie o výkonu 940 až 1 340 kWh/m<sup>2</sup>/rok. Rozložení těchto oblastí je taktéž vidět na obrázku níže. [1][2][3][4]



Obrázek 1.1 Roční průměrný úhrn doby trvání slunečního svitu v hodinách, roční průměrný úhrn slunečního záření v MJ/m<sup>2</sup> a v kWh/m<sup>2</sup> [1]

## 2. FOTOELEKTRICKÝ JEV

### 2.1 Historie a objevitelé

Fotoelektrický jev byl poprvé objeven Alexandrem Edmondem Becquerelem v roce 1839 ve Francii. Od tohoto okamžiku byla známa možnost přeměny světelné energie na energii elektrickou. První funkční fotovoltaický článek byl sestaven americkým vynálezcem Charlesem Frittem v roce 1954. Selenový článek s tenkou vrstvou zlata měl účinnost kolem 1% a tudíž se neuplatnil jako komerční zdroj energie. Zajímavostí ovšem je, že tento článek byl využíván jako světelný senzor při expozici fotografií až do roku 1960. V roce 1905 byl fotoelektrický efekt fyzikálně popsán Albertem Einsteinem, za což obdržel v roce 1921 Nobelovu cenu. Experimentálně jev potvrdil další nositel Nobelovy ceny Američan Robert Millikan v roce 1916. Solární článek byl poprvé patentován v roce 1946 americkým inženýrem Russellem Ohlem. První skutečný FV článek s účinností 6 % byl vyroben z krystalického křemíku v amerických Bellových laboratořích. [5][6]

### 2.2 Princip a funkce

Základem výskytu fotoelektrického jevu je přítomnost PN přechodu z odpovídajících dielektrik. Dielektrika mají jednu důležitou vlastnost a tou je šířka jejich zakázaného pásu. Obecně leží šířka jejich zakázaného pásu mezi vodiči a izolanty. To znamená, že se dielektrika podle různých okolních podmínek mohou chovat buď jako izolanty nebo jako vodiče. Toho je využito i ve FV člancích při jejich osvětlení. [7][8]

Fotovoltaický panel je systém fotovoltaických článků, které lze nazvat velkými polovodičovými diodami. Základní strukturou polovodičového PN přechodu je v tomto případě většinou křemíkový substrát, zvaný wafer, s příměsovou vodivostí typu P neboli s vodivostí děr. Vodivost typu P se vytváří dotací substrátu prvky ze III. skupiny periodické soustavy prvků. Nejčastěji se pro tento účel využívá bor. [8][9][10]

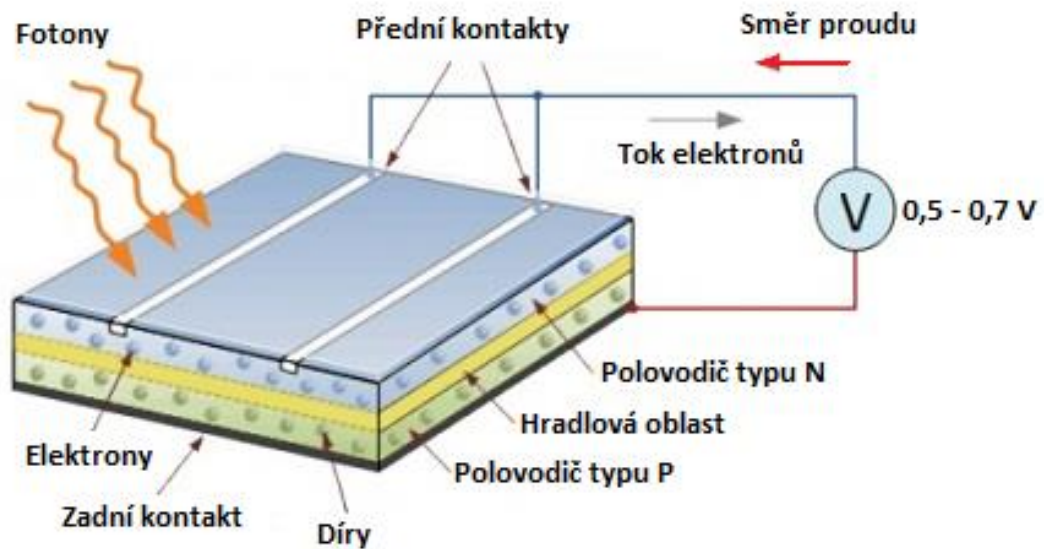
Na vrchní straně základního substrátu je následně vytvořena velmi tenká vrstva s vodivostí typu N neboli s vodivostí elektronovou. Vodivost typu N je zhotovena pomocí difúze prvků z V. skupiny. Jako nejčastější dopant pro N vodivost se využívá fosfor.

Mezi vrstvami P a N je takzvaná hradlová oblast. Tato vrstva zabraňuje volnému přechodu elektronů z místa jejich nadbytku (vrstva N) do místa jejich nedostatku (vrstva P). Opačným směrem se však elektrony pohybovat přes hradlo mohou. [8][9][10]

Pokud je článek osvětlen, předávají fotony svou energii atomům křemíku v krystalové mříži a umožňují uvolnění jejich vazebních elektronů a tím vznik volných elektronů. Volné elektrony z vrstvy N nemohou projít přes hradlo, čímž zde dochází k jejich hromadění. Zároveň do vrstvy N přicházejí přes hradlo další volné elektrony z vrstvy P. Na přechodu PN vzniká mezi horní a spodní vrstvou rozdíl potenciálů známý jako

elektrické napětí. V případě křemíku se maximální velikost napětí pohybuje mezi 0,5 až 0,7 V v závislosti na použité technologii. [9][11]

Po připojení spotřebiče na vývody FV článku dojde k uzavření elektrického obvodu. Elektrony začnou vodiči proudit z oblasti s vysokou koncentrací do oblasti s nízkou koncentrací. Elektrický proud má směr opačný. Názorně je vše uvedeno na obrázku 2.1.



Obrázek 2.1 Konstrukce a princip činnosti FV článku [12]

## 3. VÝROBA FV ČLÁNKŮ

### 3.1 Křemík – Si

Nejpoužívanějším materiálem pro výrobu FV článků je křemík, většina všech vyrobených FV panelů je křemíkových. Křemík je z hlediska elektrotechnické výroby obecně velice hojně využívaným prvkem. Může za to především jeho dostupnost, jelikož je druhým nejrozšířenějším prvkem v zemské kůře, kde je zastoupen zhruba ze 30 %. To ho dělá relativně levným a nejvíce používaným materiálem pro výrobu polovodičů. Technologické procesy výroby jsou již velice dobře zvládnuté, tento fakt přispívá k celkové popularitě. Křemík není jedovatý a tím pádem není potřeba žádných speciálních logistických a skladovacích procedur. [6][11]

#### 3.1.1 Výroba krystalického křemíku

Křemík musí mít, pro elektrotechnickou výrobu součástek obecně, vysokou čistotu. V přírodě se však tento prvek čistý prakticky nevyskytuje, je nejvíce přítomný ve formě křemene. Křemen je chemická sloučenina křemíku a kyslíku. Při čistícím procesu se nejdříve křemenný písek v obloukových pecích zahřívá na teplotu kolem 1 900 °C. Jako palivo a další struskotvorné přísady se přidávají uhelný prach, dřevěné uhlí a koks. Výsledným produktem je metalurgický křemík hutní kvality o čistotě 99 %. Odpadním materiálem je struska s nečistotami jako železo, hliník a dále plyn oxid uhelnatý. [12]

Metalurgický křemík se pro použití v elektrotechnice musí ještě dále čistit. Pro FV články se bavíme o ppm čistotě ( $10^{-6}$ ), v případě čipů je to ppb čistota ( $10^{-9}$ ). V současnosti nejvíce využívanou metodou pro čištění křemíku je technologie Siemens s chlórovým cyklem. Zjednodušeně jde o metodu zkapalnění křemíku za přidání chlóru a následné destilace takto vzniklého trichlórsilanu. Trichlórsilan se společně s vodíkem vhání do reakční komory, kde na tenkých křemíkových zárodečných tyčích při teplotě 1 200 °C probíhá vylučování a růst nového křemíku. Produktem jsou čisté křemíkové tyče o průměru kolem 15 cm, které se drtí na křemíkový granulát o ppb čistotě. Nevýhodou této technologie je vysoká energetická náročnost a toxicita pro životní prostředí. Z toho důvodu se stále hledají alternativy, které by pomohly snížit cenu a toxicitu. [12]

### 3.2 Krystalické FV články

Již bylo zmíněno, křemík je nejrozšířenějším materiálem pro výrobu FV článků. Tento typ článků je také někdy nazýván substrátovým typem z důvodu využití křemíkového waferu. Proces jeho výroby byl popsán v podkapitole 2.2. Tento wafer neboli tenký plátek křemíkového krystalu, slouží jako fyzický nosič a zároveň jako funkční část článku. V rámci této technologie existují dva různé přístupy výroby křemíkových krystalů. Označují se jako monokrystaly a polykrystaly. [14][15][16]



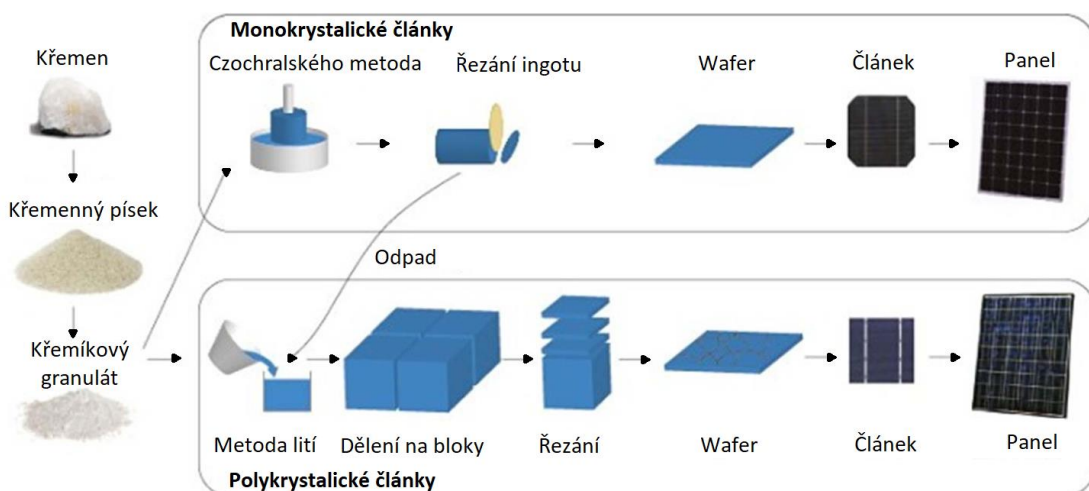
### 3.2.1 Monokrystalické články

Pro výrobu monokrystalů se využívají metody jako Bridgmanova metoda, metoda zonální tavy nebo Czochralského metoda. Právě poslední zmíněná, též nazývaná jako tažení monokrystalu z kelímku, se stala naprosto dominantní metodou pro výrobu monokrystalických článků. [14][15]

Jak už je z názvu metody patrné, zjednodušeně si ji lze představit jako křemenný kelímek s roztaveným polykrystalickým křemíkovým práškem a příslušnými příměsemi. Teplota tání křemíku je 1 410 °C. Do této lázně se následně ponoří zárodečný krystal. Tento krystal je monokrystalem s požadovanými vlastnostmi, jako je například orientace atomů v krystalové mříži. Za stálého otáčení kelímku definovanou rychlostí je následně zárodečný krystal vytahován, taktéž definovanou rychlostí, ven z polykrystalické taveniny. Na jeho spodní straně dochází k chladnutí a růstu již monokrystalické struktury se stejnými vlastnostmi jako zárodečný krystal. [14][15][16]

Celý proces je velmi časově a energeticky náročný. Rychlost růstu monokrystalu je pouze několik centimetrů za hodinu. Při tom je potřeba udržovat stálou teplotu přes 1 410 °C během celé procedury. Výsledné monokrystalové válcovitého tvaru mohou mít až 30 cm v průměru, a i několikametrovou délku. Krystal je následně nařezán na tenké plátky, wafery, jejichž povrch je dále vyhlazován pomocí leptání. [14][15][16]

Wafery jsou zpravidla vyráběné jako polovodiče typu P. Pomocí difúze je na jejich povrchu, v difúzní peci o teplotě kolem 850 °C, vytvořena tenká vrstva typu N. Výsledkem je PN přechod popsáný v podkapitole 2.2. Dalším procesem je zhotovení antireflexní vrstvy, která zajistí, aby se světelné paprsky od povrchu FV článku neodrážely zpět. Následuje natisknutí předních a zadních kontaktů metodou sítotisku. Hrany článků jsou odleptány, aby se zabránilo případným zkratům na boku článku. Zjednodušený proces výroby je vidět na obrázku 3.1. [14][15][16]



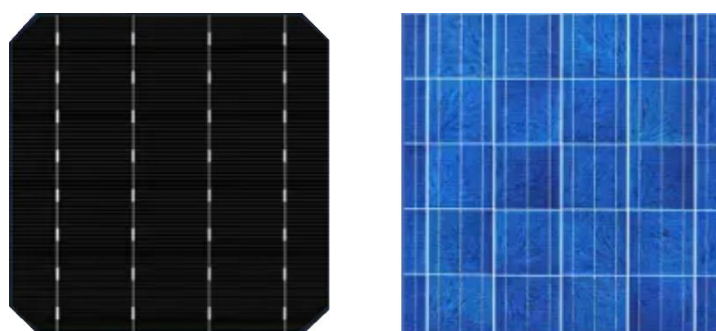
Obrázek 3.1 Proces výroby krystalických FV článků [14]

### 3.2.2 Polykrystalické články

Zjednodušené schéma výroby polykrystalických článků je na obrázku 3.1. Rozdíl oproti monokrystalické metodě je v samotném krystalu. Krystal se vyrábí metodou lití z křemíkové taveniny dotované příslušnými příměsemi do kvádrové formy. Forma se následně střídavě ochlazuje a zahřívá, aby se podpořil růst křemíkových krystalů. Následně se blok dělí na menší bloky, které se řezou na wafery. Další proces je stejný jako u monokrystalických článků. [14][15]

### 3.3 Srovnání technologií FV článků

Vizuální srovnání výše popsaných technologií výroby FV článků je na obrázku 3.2.



Obrázek 3.2 Srovnání technologií FV článků. Vlevo monokrystalický, vpravo polykrystalický [17]

Jednotlivé technologie se liší svými vlastnostmi. Nelze označit jeden z technologických postupů za absolutní řešení všech aplikací. Existuje mnoho kritérií, která je třeba zvažovat pro každou aplikaci zvlášť. Základní vlastnosti jednotlivých technologií výroby jsou shrnuty v tabulce 3.1.

Tabulka 3.1 Srovnání technologií FV článků [18][19][20]

Vlastnosti	Monokrystalický křemík	Polykrystalický křemík
Účinnost	17–26,7 %	15–19,5 %
Nejlepší technologie	Monokrystalický N-typ IBC (26,7 %)	Polykrystalický PERC (19,5 %)
Výkon	135–220 Wp/m <sup>2</sup>	120–185 Wp/m <sup>2</sup>
Přehřívání	Ano	Ano
Váha	Velká	Střední
Flexibilita	Ne	Ne
Náročnost výroby	Velká	Střední
Použití	Statické aplikace s ideálními světelnými podmínkami	Statické aplikace se zhoršenými světelnými podmínkami
Záruka	25+ let	25+ let

## 4. VYHODNOCENÍ TRHU V ČR

Tato kapitola je zaměřena na vyhodnocení trhu se solární energií v České republice. Pozornost je dána především výhodám, případně nevýhodám využití FV panelů. Dále jsou zde rozebrány podmínky využití, dotace a legislativa ČR.

### 4.1 Klady a zápory

Při produkci elektrické energie z FV panelů jsou využívané principy popsány v předchozích kapitolách této práce. V následujících odstavcích jsou shrnuty hlavní výhody a nevýhody FV aplikací.

#### 4.1.1 Výhody fotovoltaických systémů v podmínkách ČR

- **Ekologické řešení** – Výroba elektrické energie pomocí bezemisního a takřka nevyčerpatelného zdroje energie. [21][22][24]
- **Úspory za elektrickou energii z distribuční sítě** – Díky vlastní výrobě elektrické energie a její následné spotřebě uvnitř domácnosti lze výrazně snížit množství odebírané elektřiny z distribuční sítě a tím ušetřit. U aplikací s bateriovým úložištěm lze navíc uspořit další náklady na snížení hodnoty jmenovitého výkonu hlavního jističe. [21][22]
- **Dotace** – Na území ČR je možné využít státní dotace na vybudování FV elektrárny až do výše 200 000 Kč. [25]
- **Návratnost investice** – V závislosti na typu a podmínkách dané instalace, a zároveň výše přidělené dotace, se návratnost počáteční investice pohybuje mezi 5–10 lety. [21][22]
- **Záložní zdroj energie** – U aplikací s bateriovým úložištěm je na určitou dobu zabezpečena ochrana pro případ výpadku dodávek elektrické energie z rozvodné sítě. [21]
- **Instalace** – V dnešní době existuje mnoho příslušenství a konzolí pro instalaci FV panelů na jakémkoliv typu střech nebo fasád. Při sjednání instalace na rodinný dům odbornou firmou trvá celý proces instalace většinou okolo 3–5 dnů. [22]
- **Lokality bez rozvodné sítě** – FV systémy představují často jediné možné řešení získání elektrické energie v lokalitách bez přítomnosti klasické rozvodné sítě. [22]
- **Bezpečnost, spolehlivost a údržba** – Systémy FV elektráren jsou vysoce bezpečné a spolehlivé. Jedná se o systémy bezhlučné s absencí pohyblivých dílů, které zpravidla nekladou velké nároky na údržbu. [21][22][24]
- **Životnost** – U většiny krystalických panelů je udávána záruka 20 let proti poklesu výkonu vyrobené energie na 80 % počáteční hodnoty. Avšak i po uplynutí této doby panely dál vyrábějí elektrickou energii. [21][23]

#### 4.1.2 Nevýhody fotovoltaických systémů v podmínkách ČR

- **Počáteční investice** – Největší nevýhodou jsou vysoké počáteční investice do FV systémů v řádu statisíců. Tato počáteční investice je pak splácena z výše zmíněných úspor za elektrickou energii. [22][23][24]
- **Klimatické podmínky** – Množství vyrobené energie je silně závislé na počasí a ročním období. Z toho důvodu nelze předpovědět kdy a kolik energie bude vyrobeno. [22][23][24]
- **Záložní zdroj energie** – FV systémy nemohou sami spolehlivě zajistit dodávku potřebné elektrické energie. Ve většině případů je nutné mít, hlavně v zimních měsících, další záložní zdroj energie. [22][24]
- **Instalace** – V některých případech vyžaduje instalace systému zásah do konstrukčních prvků stavby. Další zásahy jsou potřebné na straně elektroinstalace. [23]
- **Efektivita FV panelů** – I přes veškerý výzkum se efektivita dnešních komerčních FV panelů pohybuje mezi 10-23 %. Proto je nutná celkem velká zástavbová plocha. [23][24]

## 4.2 Státní dotační programy

Od 1. června 2022 se dotace pro rodinné domy v programu Nová zelená úsporám Státního fondu životního prostředí České republiky řídí pravidly s názvem Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory v programu Nová zelená úsporám v rámci Národního plánu obnovy. V rámci tohoto dokumentu jsou popsány oblasti podpory a podmínky jejího poskytnutí. Podporovány jsou pouze projekty, které byly realizovány a uhrazeny po 1. lednu 2021. Celková výše podpory na jednu dotační žádost je omezena na maximálně 50 % celkových přímých realizačních výdajů. Pro FV systémy je důležitá oblast podpory C, která se týká zdrojů energie a konkrétně podoblast C.2 - Příprava teplé vody a C.3 - Fotovoltaické systémy. [25]

#### 4.2.1 NZÚ – Podoblast C.2 - Příprava teplé vody

V rámci této podoblasti je z pohledu FV systémů důležitá pouze část s označením FV, která podporuje Solární fotovoltaický ohřev vody. Maximální výše podpory na instalovaný systém je 45 000 Kč. [25]

Podmínkou je, aby podporované fotovoltaické systémy byly odděleny od distribuční soustavy elektrické energie a vnitřních rozvodů propojených s distribuční soustavou. Zároveň musí používat technologii sledování maximálního bodu výkonu „MPPT“. [25]

Kritériem pro poskytnutí dotace je dosažení minimální hodnoty celkového vypočteného využitelného zisku solární soustavy 1 400 kWh/rok. Dalším sledovaným parametrem je přítomnost akumulčního zásobníku tepla s minimálním měrným objemem 80 l/kWp. [25]

#### 4.2.2 NZÚ – Podoblast C.3 - Fotovoltaické systémy

Tato podoblast se zabývá realizací nových FV systémů pro výrobu elektrické energie na již existujících stavbách rodinných domů. Podpora se poskytuje na pořízení a instalaci nového fotovoltaického systému propojeného s vnitřními rozvody el. energie a distribuční soustavou, určeného pro výrobu elektrické energie. Důraz je kladen na přednostní využití vyrobené energie v budově nebo v místním energetickém společenství, do něhož je tato budova zapojena. Systémy bez propojení s distribuční soustavou jsou podporovány pouze v případech, kdy rodinný dům není připojen k distribuční soustavě. [25]

Maximální výše podpory se stanoví jako součet jednotkových výší podpory za jednotlivé části systému, které budou instalovány, maximálně však do výše 200 000 Kč na jeden rodinný dům. Jednotkovou výši podpory stanovuje tabulka 4.1. [25]

Tabulka 4.1 Výše podpory pro podoblast C.3 - Fotovoltaické systémy [25]

Instalované části systému FVE	Výše podpory [Kč]
Minimální instalace o výkonu 2 kWp	40 000
Minimální instalace o výkonu 2 kWp s hybridním měničem	60 000
Minimální instalace o výkonu 2 kWp s efektivním využitím tepelného čerpadla	100 000
Za 1 kWp instalovaného výkonu nad 2 kWp	10 000
Za 1 kWh el. akumulčního systému s akumulátory na bázi lithia	10 000

Instalovaný FV systém musí být umístěn na rodinném domě nebo speciální konstrukci uzpůsobené tak, aby nebyl omezen růst vegetace. Maximální podporovaný výkon systému je 10 kWp. [25]

Další podmínkou je přítomnost měniče s minimální účinností 95 %. Měniče a nabíječe připojené přímo k fotovoltaickým panelům musí být navíc vybaveny technologií pro sledování bodu maximálního výkonu s minimální účinností přizpůsobení 98 %. U hybridních měničů se připouští minimální účinnost 92 %. [25]

Dále jsou stanovena kritéria pro minimální účinnost FV panelů (při standardních testovacích podmínkách). FV panely složené z monokrystalických a polykrystalických článků musí dosahovat účinnosti alespoň 18 % a amorfní panely alespoň 12 %. Fotovoltaické střešní krytiny a fasádní krytiny nemají stanovené žádné minimální požadavky na účinnost. [25]

V případě použití bateriového systému (s elektrickými akumulátory) je minimální podporovaná kapacita stanovena na jednonásobek a maximální podporovaná kapacita na dvojnásobek podporovaného instalovaného výkonu FV modulů v kWh. Akumulátory na bázi olova (vč. gelových, AGM a trakčních), Ni-MH, Ni-Fe nejsou podporovány. [25]

## **4.3 Podmínky využití FVE a legislativa ČR**

Cílem této práce je navržení nové FVE umístěné na rodinném domě. Zároveň z předchozí kapitoly vyplývá, že pro získání státní dotace je maximální hodnota instalovaného výkonu elektrárny omezena na 10 kWp. Dotační program zároveň stanovuje tento FV systém buď jako systém propojený s distribuční soustavou s přednostním využitím vyrobené elektrické energie v rodinném domě nebo jako ostrovní systém pro přípravu TUV. Z toho důvodu se tato kapitola bude zabývat pouze legislativou platnou pro tento uvažovaný případ. [25][26]

Pro zamýšlený případ FVE je důležitý Energetický zákon (Zákon č. 458/2000 Sb.) a jeho novela (Zákon č. 131/2015 Sb.), Stavební zákon (Zákon č. 183/2006 Sb.) a Zákon o podporovaných zdrojích energie (Zákon č. 165/2012 Sb.). Dále se realizace nové FVE týká Vyhláška o obecných požadavcích na využívání území (Vyhláška č. 501/2006 Sb.), Vyhláška o technických požadavcích na stavby (Vyhláška č. 268/2009 Sb.), Vyhláška o podmínkách připojení k elektrizační soustavě (Vyhláška č. 16/2016 Sb.) a Vyhláška o vykazování energie z podporovaných zdrojů (Vyhláška č. 145/2016 Sb.). [25][26]

Ministerstvo pro místní rozvoj v roce 2019 vypracovalo metodickou pomůcku s názvem FOTVOLTAIKA pro umístování, povolování a užívání fotovoltaických staveb a zařízení. V této příručce je mimo jiné shrnuta i veškerá problematika týkající se případu FVE z této práce. V následující části je čerpáno z kapitoly – Menší fotovoltaické systémy připojené na síť a ostrovní systémy instalované na stavbě. [26]

### **4.3.1 Energetická licence na provoz FVE**

FVE o výkonu v jednotkách až desítkách kW, které jsou určeny primárně pro vlastní potřebu a dále ostrovní systémy a systémy do 50 kW včetně připojení na síť, nevyžadují licenci. [26]

### **4.3.2 Umístění FVE na stavbě**

Pokud je FVE instalována na stavbu, jedná se o změnu dokončené stavby – o stavební úpravy dokončené stavby. Podle § 79 odst. 5 stavebního zákona nevyžadují stavební úpravy rozhodnutí o umístění stavby ani územní souhlas. [26]

### **4.3.3 Provedení a realizace FVE**

Způsob povolení provedení FVS, resp. stavebních úprav spojených s instalací FVS se posuzuje podle konkrétních navržených stavebních úprav. Za podmínek daných stavebním zákonem lze aplikovat § 103 odst. 1 písm. d) stavebního zákona. Podle tohoto bodu platí, že stavební povolení ani ohlášení stavebnímu úřadu nevyžadují stavební úpravy, pokud se jimi nezasahuje do nosných konstrukcí stavby, nemění se vzhled stavby ani způsob užívání stavby, nevyžadují posouzení vlivů na životní prostředí a jejich

provedení nemůže negativně ovlivnit požární bezpečnost stavby a nejde o stavební úpravy stavby, která je kulturní památkou. [26]

#### **4.3.4 Kolaudace a užívání FVS**

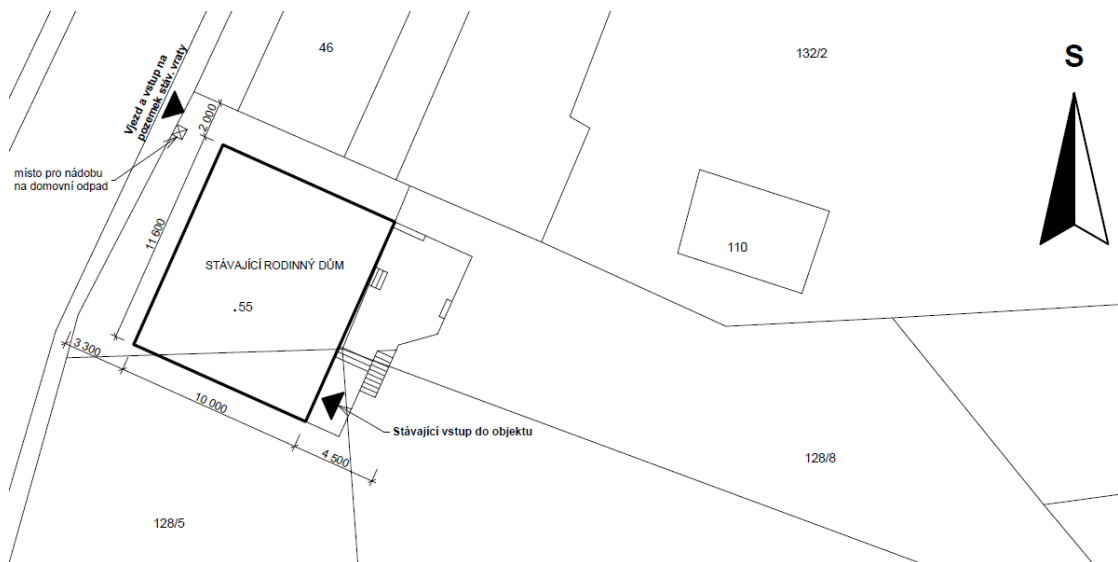
Pokud provedení stavebních úprav spojených s instalací FVS nevyžadovalo podle § 103 odst. 1 písm. d) stavebního zákona stavební povolení ani ohlášení stavebnímu úřadu, nevyžaduje užívání FVS kolaudační souhlas ani kolaudační rozhodnutí (§ 119 odst. 1 stavebního zákona). [26]

## 5. DISPOZICE RODINNÉHO DOMU V LOKALITĚ ÚSTRAŠICE

Praktickou částí této práce bylo vytvoření návrhu FV elektrárny pro rodinný dům, který se nachází v jižních Čechách v obci Ústrašice na Táborsku. Jde o zrekonstruovaný rodinný dům, který je trvale obydlen dvěma lidmi.

### 5.1 Dispozice stavby

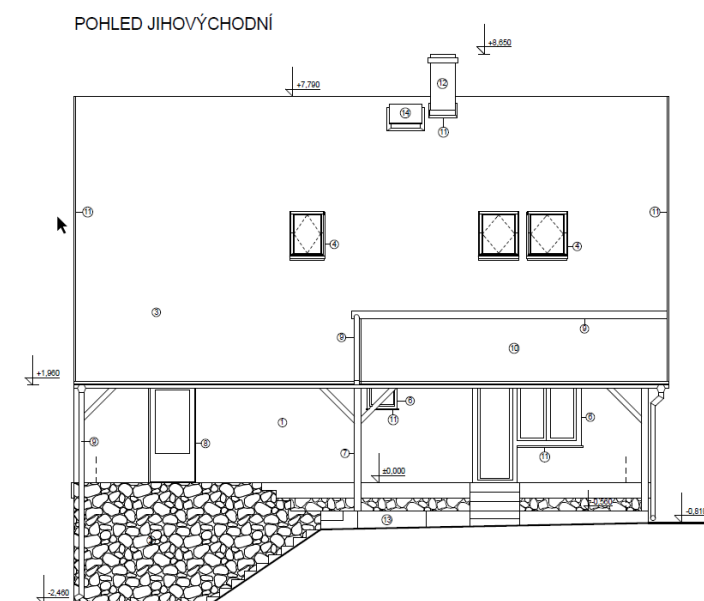
Dům č.p. 54 je podsklepený jednopodlažní samostatně stojící objekt s obytným přízemím a v současné době nevyužitým podkrovím. Stavba má obdélníkový půdorys o rozměrech 11,6 m a 10 m. Geografická orientace stavby je vidět na obrázku 5.1. Odklon od světových stran je  $25^\circ$ .



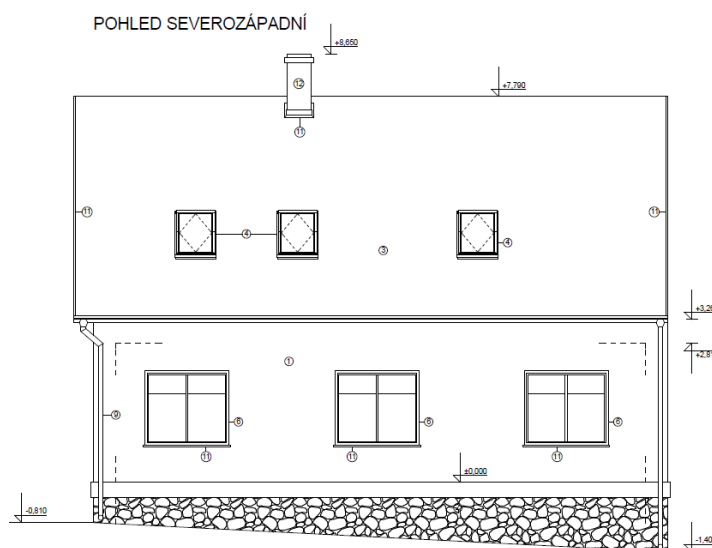
Obrázek 5.1 Geografická orientace stavby [27]

Na domě je nová sedlová střecha pokrytá plechovou krytinou s černou povrchovou úpravou. Při rekonstrukci střechy byly vyměněny dílčí části krovu hlavně v části, kde byl odstraněn původní střešní arkýř. Sklon střechy má nyní úhel  $38^\circ$ . Tento sklon je souměrný na obou stranách střechy. Dům je vybaven centrálním komínem pro spalování tuhých paliv. Vedle komína je umístěný střešní výlez pro jeho údržbu. Nově je střecha osazena třemi střešními okny na jihovýchodní straně a taktéž třemi střešními okny na straně severozápadní. Rozložení střešních oken na střeše není symetrické a odpovídá zamýšlené půdní vestavbě. Pro názornost jsou obě strany střechy vidět na obrázcích 5.2 a 5.3.



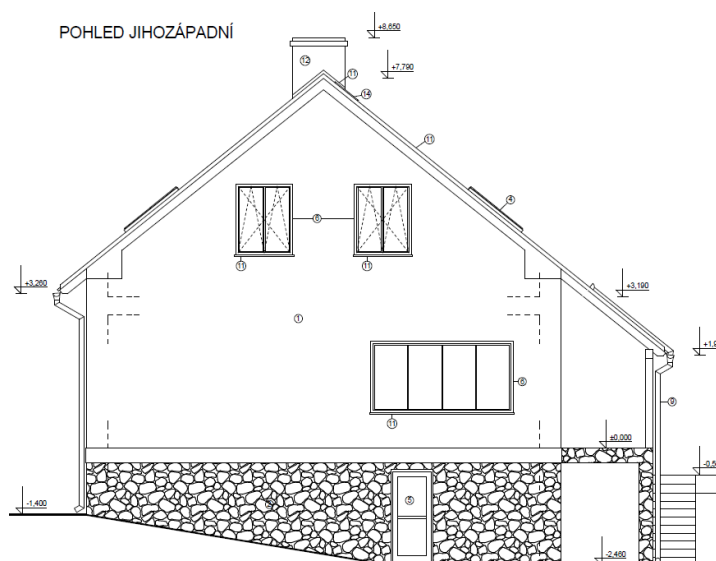


Obrázek 5.2 Jihovýchodní pohled [27]



Obrázek 5.3 Severozápadní pohled [27]

Z pohledu instalace FV elektrárny se jeví velice zajímavě jihozápadní štít domu, který by si majitelé domu přáli využít. Se svou orientací je vystaven nepřetržitému slunečnímu svitu. Sluneční záření je zde jen z malé části zastíněné nedalekým pruhem lesa. Následkem toho není štít domu osvětlen bezprostředně po východu slunce, ale až přibližně od osmé hodiny ranní. Ve zbytku dne už slunečnímu svitu nic nebrání a paprsky na dům dopadají až do samotného západu slunce. Dispozice štítu je k vidění na obrázku 5.4.



Obrázek 5.4 Jihozápadní pohled [27]

## 5.2 Osvitové podmínky

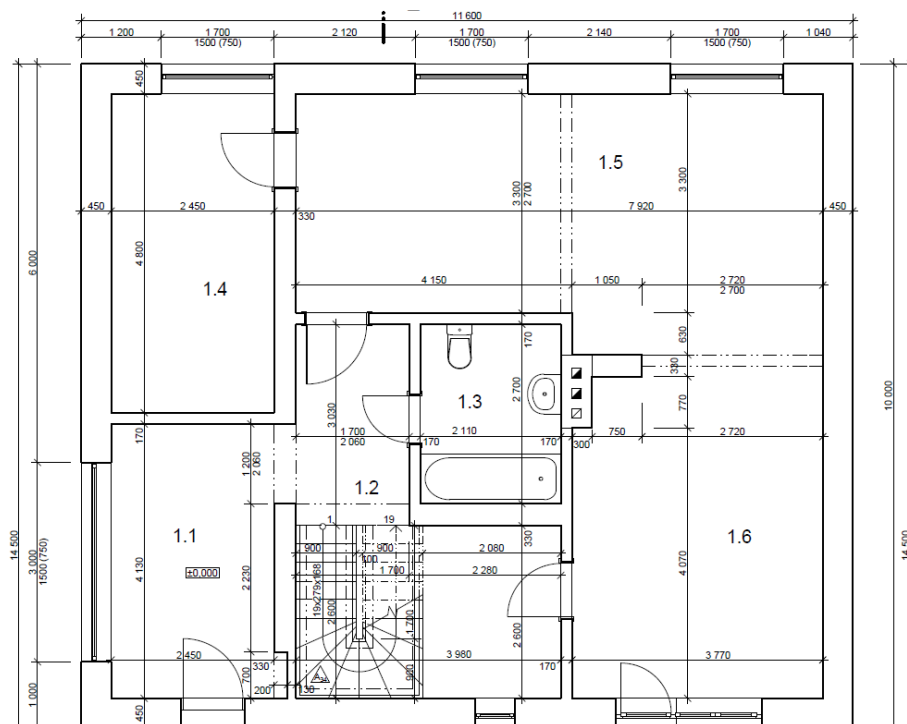
Jak už je z výše uvedených obrázků 5.1, 5.2 a 5.3 patrné nemají orientace střechy ani štít ideální jižní orientaci. Na jihovýchodní část střechy dopadá sluneční záření od osmé hodiny ranní až do časných odpoledních hodin. Na to plynule navazuje osvit severozápadní části střechy, který trvá až do západu slunce.

Alternativou je již zmiňovaný jihozápadní štít domu, který je osvětlen nepřetržitě od osmé hodiny ranní až do západu slunce. Při případném využití nástěnných konzolí pro instalaci FV panelů pod správným úhlem může jít o téměř ideální pozici. Limitující může být ale velikost využitelného prostoru.

## 5.3 Dispozice domácnosti

Do objektu se vstupuje přes terasu pomocí krytých schodů z jihovýchodní strany. Na předsíň navazuje chodba, odkud je přístupná kuchyně, obývací pokoj a koupelna s WC. Koupelna se nachází uprostřed celého obytného prostoru. Obývací pokoj je volně spojený s kuchyní. Dále se v přízemí nachází ložnice, která je přístupná z obývacího pokoje. Výměra obytné plochy v přízemí domu je 90,89 m<sup>2</sup>. Půdorys je zobrazen na obrázku 5.5. V objektu se nacházejí následující prostory:

1.1	Předsíň	10,51 m <sup>2</sup>
1.2	Chodba	15,50 m <sup>2</sup>
1.3	Koupelna + WC	5,70 m <sup>2</sup>
1.4	Ložnice	11,76 m <sup>2</sup>
1.5	Obývací pokoj	28,51 m <sup>2</sup>
1.6	Kuchyně	18,91 m <sup>2</sup>

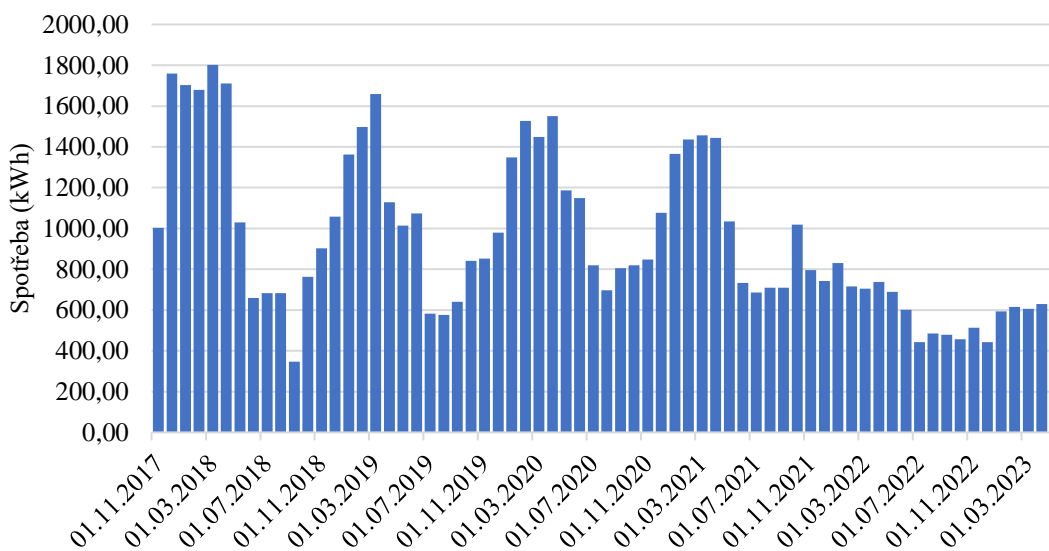


Obrázek 5.5 Půdorys [27]

Schodiště, které je na obrázku 5.5, zatím nebylo realizováno stejně jako již zmíněná půdní vestavba. Dokončení těchto prostor není aktuálně prioritou majitelů. Domácnost tedy nyní využívá pouze zmiňované přízemní prostory z této podkapitoly.

## 6. SPOTŘEBA DOMÁCNOSTI

Na základě naměřených dat měsíční spotřeby elektrické energie, které byly pravidelně zaznamenávány vlastníkem domu od 1.10.2017, byl vyhotoven graf měsíční spotřeby elektrické energie v domácnosti, který je k vidění na obrázku 6.1. Kompletní přehled naměřených hodnot je v příloze A.1.



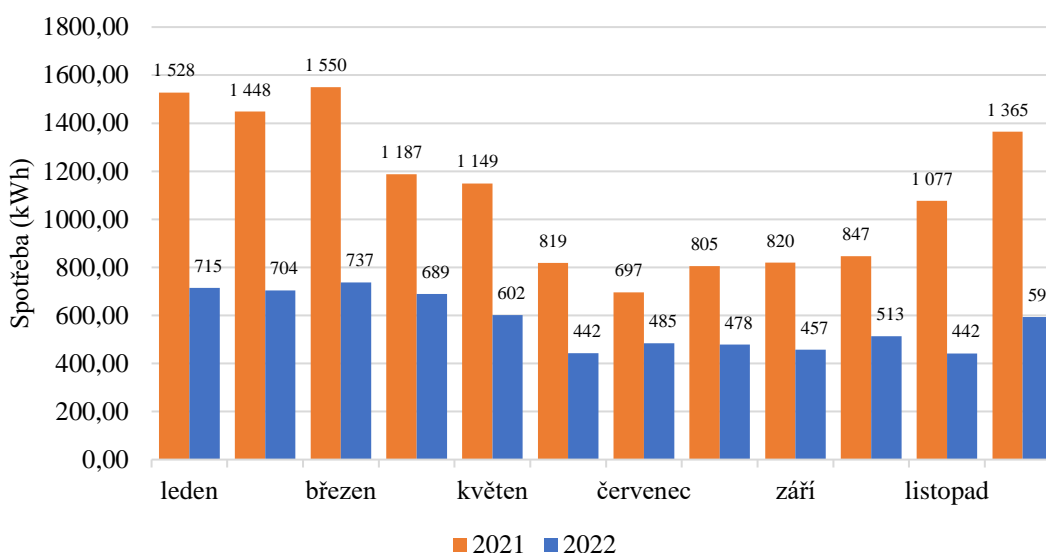
Obrázek 6.1 Graf měsíční spotřeby elektrické energie v domácnosti

Na grafu z obrázku 6.1 je v letech 2018 až 2021 viditelný nárůst spotřeby elektrické energie v zimních měsících. Tento fakt je nepochybně spojený se spotřebou energie pro účely vytápění objektu pomocí elektrokotle. V předposledním roce se ale majitelé domu, kvůli dobré dostupnosti dřeva a energetické krizi, rozhodli vytápět domácnost pouze krbovou vložkou na tuhá paliva. Výsledkem byla značná úspora elektrické energie za předloňské a loňské zimní období a tím pádem i nižší roční průměrná spotřeba elektrické energie. Přehled průměrné roční spotřeby za posledních pět let je uveden v tabulce 6.1. Vzhledem k aktuální energetické situaci jsou majitelé rozhodnutí v tomto novém trendu vytápění pokračovat v horizontu příštích 10 let. Data o spotřebě za rok 2022 nám zároveň určují spotřebu elektrické energie na běžný chod domácnosti.

Tabulka 6.1 Průměrná roční spotřeba elektrické energie v domácnosti

Rok	Průměrná roční spotřeba [kWh]
2018	12 714
2019	12 116
2020	13 599
2021	11 171
2022	6 937

Porovnání měsíčních spotřeb za roky 2021 a 2022 je znázorněno na obrázku 6.2. Jak je uvedeno v tabulce výše, celková roční spotřeba za rok 2022 činila 6 937 kWh. Při vytápění elektrinou činila průměrná roční spotřeba v letech 2018, 2019 a 2020 12 810 kWh za rok. V porovnání s rokem 2022, kdy se vytápělo kompletně tuhými palivy, je pokles spotřeby elektrické energie o 5 873 kWh, což činí 45,8 %.



Obrázek 6.2 Porovnání měsíční spotřeby energie v letech 2021 a 2022

## 6.1 Příprava TUV a otop koupelny

Největší podíl spotřebované energie na spotřebič připadá na vytápění prostoru koupelny žebříkovým radiátorem s elektrickým topným tělesem. Příkon topného tělesa je 0,8 kW. Topné těleso je ovládané termostatem s možností nastavení teploty. Vzhledem k dispozicím a umístění koupelny, bez možnosti přímého větrání do exteriéru domu, je vytápění nezbytné k zachování komfortu a omezení tvorby plísní. Místnost je vytápěna celoročně.

Velice podobnou měsíční spotřebu má elektrický bojler pro přípravu teplé užitkové vody v domácnosti. Bojler je taktéž vybaven termostatem s elektrickým topným tělesem o příkonu 2 kW. Nastavená teplota termostatu je 60 °C.

Pro účely měření těchto dvou největších spotřebičů energie byly pořízeny dva měřiče spotřeby elektrické energie Geti GPM01, které se instalují přímo do elektrické zásuvky na 230 V. Měřený spotřebič je poté zapojen do zásuvky měřáku, který zaznamenává spotřebovanou energii za daný čas. Majitel domu si každý měsíc odečítá údaje o spotřebě. Tyto údaje jsou uvedené v tabulce 6.2., pro přehled je doplněna celková spotřeba domácnosti za dané období.

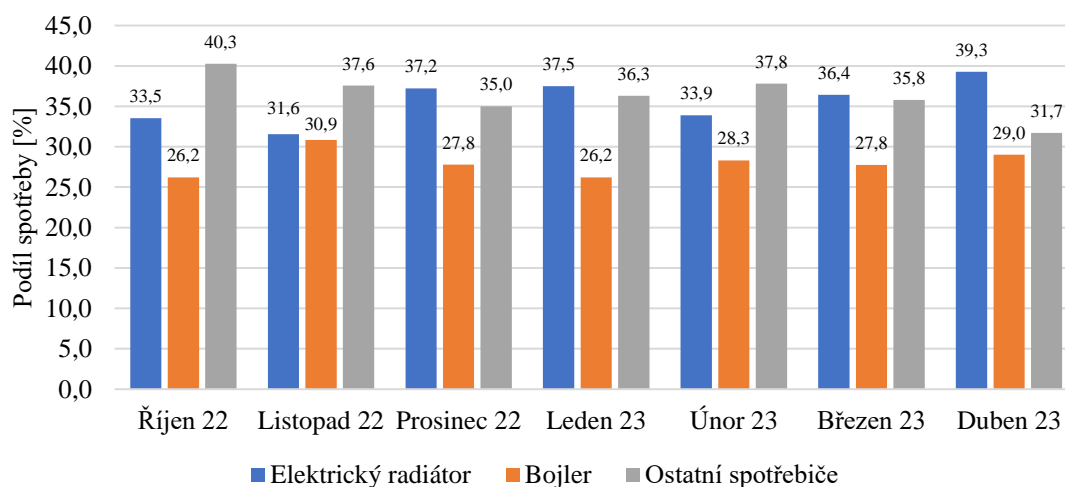
Tabulka 6.2 Spotřeba bojleru a elektrického radiátoru v kWh

Období	Celková spotřeba [kWh]	Elektrický radiátor [kWh]	Bojler [kWh]	Ostatní spotřebiče [kWh]
Říjen 2022	513	172,1	134,4	206,5
Listopad 2022	442	139,5	136,4	166,4
Prosinec 2022	593	220,7	164,7	207,6
Leden 2023	616	230,9	161,5	223,6
Únor 2023	606	205,4	171	229,1
Březen 2023	630	229,5	174,9	225,6
Duben 2023	634	249	184	201

Spotřeba elektrického žebříkového radiátoru a bojleru se rovnala 33,5 %, respektive 26,2 % z celé spotřeby za měsíc říjen. Veškeré procentuální zastoupení spotřeby v rámci měsíce je uvedeno v tabulce 6.3 a také názorně zobrazeno na obrázku 6.3.

Tabulka 6.3 Procentuální zastoupení spotřeby v rámci měsíce

Období	Celková spotřeba [kWh]	Elektrický radiátor [%]	Bojler [%]	Ostatní spotřebiče [%]	Elektrický radiátor a bojler [%]
Říjen 2022	513	33,5	26,2	40,3	59,7
Listopad 2022	442	31,6	30,9	37,6	62,4
Prosinec 2022	593	37,2	27,8	35,0	65,0
Leden 2023	616	37,5	26,2	36,3	63,7
Únor 2023	606	33,9	28,3	37,8	62,2
Březen 2023	630	36,4	27,8	35,8	64,2
Duben 2023	634	39,3	29,0	31,7	68,3



Obrázek 6.3 Procentuální zastoupení spotřeby v rámci měsíce

Jak v případě bojleru, tak i v případě žebříkového radiátoru připadá veškerý příkon na výrobu tepla za pomoci tepelného tělesa. Díky akumulární schopnosti v případě bojleru je okno procesu přípravy TUV poměrně široké, nicméně je potřeba zohlednit denní rituály obyvatel. Majitelé si přejí mít k dispozici teplou vodu o teplotě alespoň 45 °C v těchto časech a množstvích:

Tabulka 6.4 Požadavek na množství teplé vody v průběhu dne

Časové období [hod]	Množství 45 °C vody [l]
07:00 – 08:00	30
08:00 – 22:00	10
22:00 – 22:30	40

V případě žebříkového radiátoru je požadavek majitelů mít koupelnu vytápěnou převážně v ranních hodinách od 5:00 do 8:00. Druhé časové okno se týká hlavně večerních hodin od 17:00 do 21:00.

## 6.2 Ostatní spotřebiče

Ostatní elektrické spotřebiče jsou spojeny s komfortním chodem domácnosti. Jde o spotřebiče, které jsou standardními pomocníky v domácnosti, jako jsou pračka, myčka, lednice, sklokeramická varná deska, trouba, žehlička, vysavač či mixér. Další podskupinou jsou přístroje starající se o naši zábavu – televize, rádio, počítač, tablet nebo mobilní telefon. Příkony většiny zařízení jsou uvedeny v tabulce 6.5.

Tabulka 6.5 Elektrospotřebiče v domácnosti

Spotřebič	Příkon [W]
Elektrokotel (záloha)	5 300
Bojler (120 l)	2 000
Elektrický žebříkový radiátor	800
Čerpadlo na vodu	1 100
Pračka	2 200
Fén	2 000
Sklokeramická indukční deska	6 500 (2 300/ 1 200/ 1 800/ 1 200)
Trouba	2 350
Myčka	1 600
Mikrovltná trouba	1 400
Kávovar	1 850
Lednice	900 (denně)
Lednice na zahradě	400 (denně)
Mixér	300
Žehlička	1 600
Televize	170

Některé spotřebiče, například lednice nebo čerpadlo na vodu, jsou pouze nepřímo spojené s denními návyky obyvatel. Samozřejmě, že čerpadlo sepne jen poté, co jsme si napustili sklenici vody nebo spláchli záchod. Jejich denní spotřeba je však víceméně konstantní. Souvisí totiž se základními lidskými potřebami.

Při stanovení denní spotřeby musí být zohledněn harmonogram obyvatel domácnosti. Harmonogram se liší pro všední dny a víkend, stejně jako pro zimu a léto. Pro usnadnění výpočtů byl připraven „idealizovaný den“ s průměrnou spotřebou v rámci celého roku. Tento harmonogram s uvedenými časy je společně s odhadovanou spotřebou vypsán v tabulce 6.6.

Tabulka 6.6 Denní harmonogram idealizovaného dne, využití přístrojů a jejich spotřeba

Čas [hod]	Spotřebič	Reálná spotřeba [Wh]
7:00 – 8:30	Kávovar	80
7:00 – 8:30	Indukční deska	200
7:00 – 8:30	Rádio	40
7:00 – 8:30	Žehlička	160
7:00 – 8:30	Osvětlení	50
7:00 – 8:30	Fén	300
11:00 – 13:00	Indukční deska	500
11:00 – 13:00	Trouba	800
11:00 – 13:00	Robotický vysavač	14
16:30 – 23:30	Mikrovlnná trouba	50
16:30 – 23:30	Myčka	1 000
16:30 – 23:30	Osvětlení	350
16:30 – 23:30	Pračka	600
16:30 – 23:30	Televize	680
<b>Přístroje pod konstantní zátěží (denní spotřeba)</b>		
	Stand-by režim (dohromady)	190
	Wi-Fi router	130
	Lednice	900
	Lednice (zahrada)	350
	Čerpadlo	275
	Bojler (120 l)	4 530
	Žebříkový radiátor	5 000
<b>Celková denní spotřeba (mimo bojler a el. radiátor)</b>		<b>6 669</b>
<b>Celková měsíční spotřeba (mimo bojler a el. radiátor)</b>		<b>200 070</b>
<b>Celková denní spotřeba (s bojlerem a el. radiátorem)</b>		<b>16 199</b>
<b>Celková měsíční spotřeba (s bojlerem a el. radiátorem)</b>		<b>485 970</b>



Celková spotřeba idealizovaného dne bez započítání spotřeby bojleru a žebříkového radiátoru v koupelně vyšla na 6 669 Wh, což po přepočtu vychází 200,07 kWh za měsíc. Hodnotu je možné porovnat s hodnotou 208,51 kWh, což je průměrná hodnota spotřeby ostatních spotřebičů za všech 7 měřených měsíců. Rozdíl 8,44 kWh je roven 4 %. Z toho lze odhadovat, že spotřeba idealizovaného dne je stanovena správně.

Rozdíl výsledků idealizovaného výpočtu a reálných hodnot je ovlivněn obrovským množstvím faktorů, jako jsou počasí, venkovní teplota, dovolená či nemoc obyvatel domu, návštěvy atd. Zároveň není do výpočtu zahrnuto využívání sezonních spotřebičů, jako je například zahradní a dílenské elektrické nářadí či zvýšená spotřeba čerpadla pro zalévání zahrady. Nejdůležitější změnou je ale rozdíl přístupu majitelů k samotné spotřebě díky začátku energetické krize. Model idealizovaného dne využívá informace o aktuálním režimu obyvatel domu, které se vůči předchozím letům změnilo tak, aby zamezily zbytečnému plýtvání energiemi.

## 7. FV SYSTÉM S PŘÍMOU AKUMULACÍ DO TUV

Jak již bylo uvedeno v samotném úvodu práce není v současné době možné připojit další FV elektrárnu do lokální přenosové soustavy elektrické sítě. Možnosti jsou v tomto ohledu velice omezené. Obec má sice výhledově od správce soustavy přislíbenou její rekonstrukci s nahrazením stávajícího nadzemního vedení za vedení podzemní s rozšířenou kapacitou, nicméně datum a parametry rekonstrukce ještě nejsou známy.

S přihlédnutím k této skutečnosti jsou majitelé domu nuceni pro výběr ostrovního typu fotovoltaické elektrárny bez možnosti prodeje přebytků vyrobené elektrické energie. Tento limit se následně negativně promítne do celkového horizontu návratnosti investice.

Na základě výsledků analýzy energetické spotřeby domácnosti v předchozí kapitole byla po konzultaci s majiteli nalezena shoda v tématu primárního řešení spotřeby bojleru a elektrického radiátoru. Jak už bylo uvedeno, jedná se o spotřebiče s kumulovanou 2/3 spotřebou elektrické energie v celé domácnosti. Zároveň jde o spotřebiče pro přeměnu elektrické energie na teplo, což otevírá možnosti pro FV systém bez využití baterií. Systémy pro přímou akumulaci elektrické energie do TUV jsou obecně jednoduššími a lacinějšími v porovnání se systémy bateriovými.

Dobrou zprávou je, že i na tento způsob využití FV je poskytována státní dotace, konkrétně zmíněná podoblast C.2 - Příprava teplé vody. Hlavními kritérii jsou použití MPPT regulátoru ohřevu TUV v izolovaném elektrickém okruhu, minimální zisk solární soustavy 1 400 kWh/rok a minimální objem akumulčního zásobníku tepla 80 l/kWp. [25]

### 7.1 Výhody FVS s přímou akumulací do TUV

V dnešní době již cena fotovoltaických panelů umožňuje využít jejich výkon k ohřevu teplé vody. Ze všech systémů na ohřev vody je vybudování a provozování fotovoltaického systému nejjednodušší, bezobslužné a bezúdržbové. [28][29][29]

Hlavními přednostmi jsou nízké pořizovací náklady díky absenci drahých prvků jako jsou baterie, střídač či termické kolektory. S dostupnými regulátory pro ohřev TUV, které jsou uvedeny níže, není potřeba ani speciální akumulční nádrž. Bez dodatečných úprav lze využít běžný elektrický bojler provozovaný na distribuční napětí 230 V. Tím se dále výrazně snižují pořizovací náklady a návratnost celé investice. [28][29][29]

Toto řešení má zároveň spoustu výhod v porovnání se systémem s termickými solárními kolektory: [28][29][29]

- Výrazně jednodušší montáž bez velkých prostupů a nutnosti izolace
- minimální poruchovost systému (nehrozí ztráty tlaku, porucha čerpadla, ...)
- praktická bezúdržbovost systému
- možnost umístění panelů ve větší vzdálenosti od bojleru/zásobníku
- prakticky nulové tepelné ztráty při přenosu vyrobené energie z panelů
- nižší náklady na instalaci (možno i svépomocí)

## 7.2 Typy zapojení FV soustav na ohřev vody

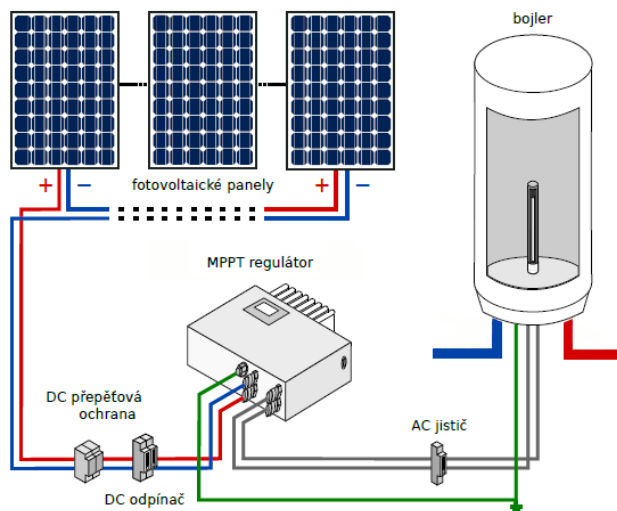
Možností, jak zapojit fotovoltaický systém pro přípravu TUV, je několik. V této kapitole budou postupně popsány a vysvětleny.

### 7.2.1 Ostrovní systém s jednou spirálou

Toto řešení je převážně vhodné pro ohřev teplé vody od jara do podzimu a je zcela nezávislé na energii z distribuční sítě. Při vhodně dimenzované FV soustavě a optimální velikosti zásobníku umožňuje teoreticky i toto jednoduché zapojení celoroční přípravu teplé vody bez distribuční sítě. V praxi ale může vlivem počasí docházet k situacím, kdy nebude dostupné požadované množství teplé vody. [30][31]

Z pohledu vstupní investice jde o nejvýhodnější řešení, jelikož systém využívá stávajícího elektrického bojleru bez jakýchkoliv úprav. V případě nového systému lze vybrat z dostupných bojlerů v nejnižších cenových kategoriích. [30][31]

Schéma zapojení ostrovního systému s jednou spirálou je na obrázku 7.1. FV panely jsou přes DC přepět'ovou ochranu a DC odpínač připojené na vstup MPPT regulátoru pro ohřev TUV. Regulátor provádí konverzi stejnosměrného napětí z FV panelů na pulsní střídavé napětí (modifikovaná sinus o frekvenci 50 Hz). To umožňuje podle typu regulátoru připojení běžných elektrických spotřebičů s odporovou zátěží do výkonu 3 kW bez rizika opálení kontaktů jejich termostatů. Na výstup regulátoru je tedy přes AC jistič a napájecí kabel připojen elektrický bojler. Termostat bojleru se zpravidla nastavuje na maximální hodnotu pro možnost akumulace teplé vody pro případ špatného počasí. [30][31]



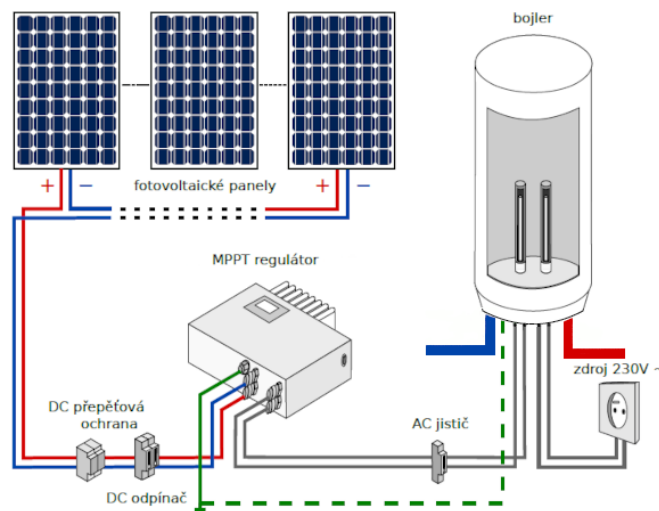
Obrázek 7.1 Ostrovní systém s jednou spirálou [31]

## 7.2.2 Kombinovaný systém se dvěma spirálami

Dalším řešením je využití bojleru se dvěma topnými spirálami. Toto řešení umožňuje zajistit celoroční ohřev teplé vody s případným dohřevem TUV z distribuční sítě v zimních měsících. V zimním období nebo v případech dlouhotrvajícího špatného počasí jsou přínosy FV systému minimálně v pokrytí tepelných ztrát bojleru. [30][31]

Samotné řešení bojleru se dvěma spirálami lze přímo zakoupit od výrobce, ale náklady na takovýto bojler jsou poněkud vyšší. Existují ale možnosti úprav topných spirál stávajícího bojleru s doplněním o druhý termostat s havarijním termostatem. Nejjednodušší je situace v případě, že bojler disponuje topnou patronou s více spirálami. Zde jsou spirály již odděleny a jdou jednoduše využít každá zvlášť. Pokud je bojler vybaven keramickým typem spirály, jde ve většině případů tuto spirálu rozdělit na dvě a nezávisle na sobě je využít pro potřeby tohoto systému. Třetí možností, v případě že ani jeden z výše zmíněných postupů nebyl možný, je úprava stávající příruby bojleru a přidání další spirály se šroubovacími vývody pro její montáž.

Schéma zapojení kombinovaného systému se dvěma spirálami je na obrázku 7.2. FV panely jsou i zde přes odpovídající jištění připojené na vstup MPPT regulátoru pro ohřev TUV. Na výstup regulátoru je znovu přes AC jistič a napájecí kabel připojena jedna ze spirál bojleru. Termostat této spirály je zpravidla nastaven na maximální hodnotu. Druhá spirála je připojená do distribuční sítě. Na jejím termostatu je nastavena minimální přípustná teplota TUV pro potřeby domácnosti. Většinou se nastavuje teplota kolem 40 °C. Důležité je, aby byly obě spirály, a tudíž i obě soustavy galvanicky oddělené proti zamezení jejich vzájemnému kontaktu. Případným propojením soustav dojde ke zničení jak regulátoru, tak případně i samotných FV panelů a dalších částí elektroinstalace. [30][31]



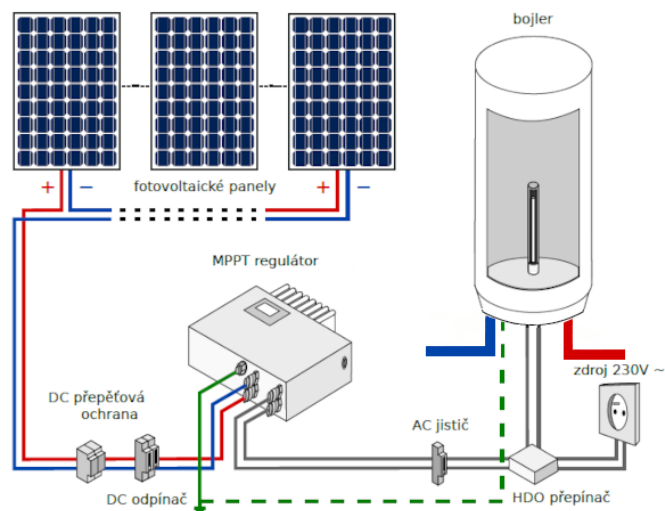
Obrázek 7.2 Kombinovaný systém se dvěma spirálami [31]

### 7.2.3 Kombinovaný systém s jednou spirálou a HDO

V pořadí třetí možností je využití systému s jednou spirálou a přepínačem HDO. Jako v předchozím případě dovoluje i toto zapojení celoroční provoz a případný dohřev TUV z distribuční sítě. Zde je pro dohřev TUV využito nočních cyklů HDO režimů. [30][31]

Schéma zapojení je na obrázku 7.3. FV panely jsou také zde přes odpovídající jištění připojené na vstup MPPT regulátoru pro ohřev TUV. Na výstup regulátoru je připojen HDO modul, který obsahuje odpovídající AC jistič. Dalšími vstupy do HDO modulu jsou vodiče distribuční sítě a HDO signálu. Modul umožní přes den ohřívát vodu z fotovoltaických panelů a v nastaveném čase dohřát teplou vodu z distribuční sítě. Zároveň má za úkol zajistit galvanické oddělení obou soustav. Novější dostupné varianty jsou navíc vybavené teplotním čidlem s možností nastavení cílové teploty pro ohřev z distribuční sítě. Na výstup z HDO modulu je poté připojen stávající bojler s pouze jednou spirálou. [30][31]

Výhodou tohoto řešení je již zmíněné využití dříve pořízeného bojleru. HDO modul také umožní blokování odběru elektrické energie ve vysokém tarifu. Nevýhodami jsou dodatečné náklady na HDO modul. [30][31]



Obrázek 7.3 Kombinovaný systém s jednou spirálou a HDO [31]

### 7.2.4 Kombinovaný systém se dvěma bojlery

Poslední možností je využití systému se dvěma bojlery umístěnými do série. Toto zapojení také umožňuje celoroční provoz s dohřevem TUV z distribuční sítě.

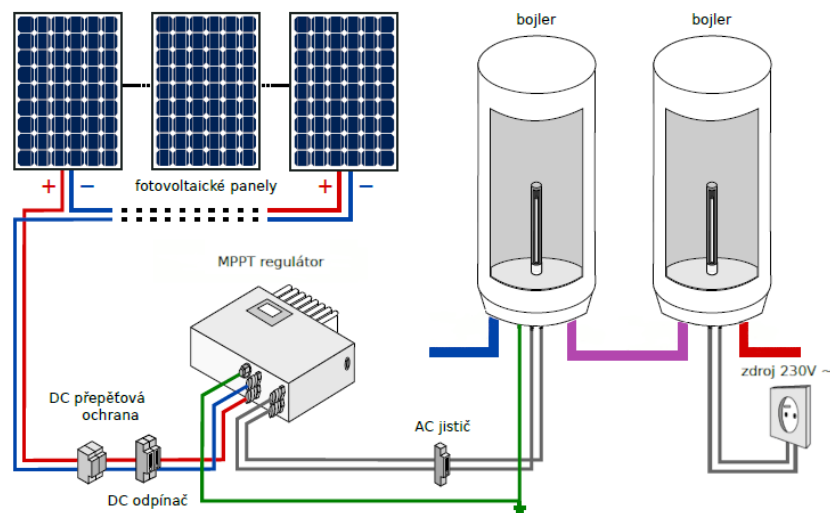
Schéma zapojení je uvedeno na obrázku 7.4. FV panely jsou přes jištění připojeny na vstup MPPT regulátoru. Přes AC jistič je na výstup regulátoru připojen první bojler. Tento bojler plní funkci fotovoltaického ohřevu. V zimních měsících nebo při dlouhotrvajícím špatném počasí alespoň částečně předehřívá TUV. Z tohoto důvodu je zde termostat nastaven na maximální hodnotu. Vodovodní výstup tohoto bojleru

je následně použit jako vstup druhého bojleru, který je napájen z distribuční sítě. Termostat tohoto bojleru je nastaven na minimální přípustnou teplotu TUV pro potřeby domácnosti.

Princip fungování jde popsat na příkladu tří možných scénářů:

- a) Pokud je dostatek slunečního svitu ohřívá energie FV panelů vodu v prvním bojleru na maximální možnou teplotu. Tato voda dále proudí do druhého bojleru, kde její teplota převyšuje limitní teplotu termostatu, tudíž ohřev z distribuční sítě není aktivní.
- b) Pokud nepanují ideální sluneční podmínky přehřívá energie FV panelů vodu v prvním bojleru. Tato voda dále proudí do druhého bojleru, kde je její teplota pod teplotním limitem termostatu. Energie potřebná k dorovnání tohoto teplotního rozdílu je využita z distribuční sítě.
- c) Při dlouhotrvajícím špatném počasí kompenzuje energie FV panelů teplotní ztráty samotných bojlerů. Teplota vody se v prvním bojleru změní jen velice nepatrně nebo vůbec. Tato voda je následně ohřata až ve druhém bojleru plně za využití distribuční sítě.

Podmínka je, aby byl v daném domě dostatek místa pro instalaci dodatečného bojleru v rozumné vzdálenosti od toho současného. Tento systém má výhody kombinovaného systému s potencionálně nejnižšími náklady. Výhodou je také velice jednoduchá obsluha. V neposlední řadě se díky tomuto systému rozšíří celkový objem zásobníku, což vede k lepší možnosti akumulace energie.



Obrázek 7.4 Kombinovaný systém s dvěma bojlery [31]

### **7.3 Volba systému zapojení soustavy**

Jelikož je dům ze dvou třetin podsklepen, je stávající bojler uložen právě v jeho sklepních prostorách. Dostatek místa kolem instalovaného bojleru s ním umožňuje snadnou práci a manipulaci.

Aktuální kapacita bojleru 120 litrů dává při spotřebě 80 litrů 45 °C vody denně pouze maximálně dvoudenní akumulaci schopnost celého systému. Z tohoto důvodu majitelé upřednostňují realizaci FV systému pomocí kombinovaného systému se dvěma bojlerů. Instalací dalšího bojleru o stejné kapacitě se zdvojnásobí jak celková objemová, tak i akumulaci kapacita systému.

Další pozitivně vnímanou vlastností je i jakási záloha pro případ poruchy bojleru samotného. Jakýkoli z budoucí instalované dvojice bojlerů lze v případě poruchy zapojit přímo do sítě a neztratit dodávky TUV.

Bojler připojený na FV ohřev musí být z bezpečnostních důvodů vybaven přetlakovým ventilem, jehož funkčnost se musí každý týden testovat. Kohout teplé vody druhého bojleru by měl být také vybaven směšovací ventilem, aby se zabránilo případnému opaření.

## 8. REGULÁTOR PRO OHŘEV TUV

Solární regulátory jsou určeny k optimalizaci zisků energie z fotovoltaických panelů. Regulátory provádějí konverzi stejnosměrného napětí z fotovoltaického systému na pulsní střídavé napětí (modifikovaná pravoúhlá sinusoida o frekvenci 50 Hz) a tím umožňují bez rizika opálení kontaktů termostatů k FV soustavě připojit běžné elektrické spotřebiče s odporovou zátěží. Příkony zátěže bývají typicky mezi 1 až 3 kW podle typu regulátoru. [31][32]

Jedním z hlavních kritérií výběru regulátoru je funkce optimálního pracovního napětí označované jako MPPT. Regulátory fungují na principu odlehčování výkonu zátěže v závislosti na vstupním výkonu. Pro správnou funkci musí být dodržen Ohmův zákon a topné těleso bojleru musí odpovídat výkonu fotovoltaického systému a výkonu regulátoru. Dle výkonu se řídí šíře pulsu modifikované sinusoidy výstupního napětí. Při snižování výkonu se pulzy zmenšují tak, aby se stabilizovalo napětí MPPT fotovoltaické elektrárny na vstupu regulátoru. Při zvyšování výkonu fotovoltaické soustavy začne regulátor rozšiřovat pulzy a tím začne růst výkon až na plnou možnou hodnotu soustavy. V porovnání s analogovým PWM regulátorem nebo DC regulátorem má MPPT regulátor až o 30 % větší energetické zisky z FV systému.[31][32]

### 8.1 Průzkum trhu

Pro účely využití státní dotace, a i všeobecných garančních služeb byl proveden průzkum MPPT regulátorů pro ohřev TUV pouze na českém trhu. Na českém trhu se v současné době nachází více modelů regulátorů, které budou v této podkapitole postupně představeny.

#### 8.1.1 Solární MPPT regulátor ECO Solar Green Boost MPPT-3000 3kW



Obrázek 8.1 Solární MPPT regulátor ECO Solar Green Boost MPPT-3000 3kW [33]



Regulátor polské firmy VOLT POLSKA, jehož specifikace je uvedena v tabulce 8.1, je na vstupní straně vybaven párem MC4 konektorů a jednofázovým jističem DZ47-63. Výstupní strana je taktéž opatřena jističem DZ47-63, dále přepínačem režimů MPPT/STABLE a dvěma zásuvkami na 230 V typu E pro připojení spotřebičů. [33][34]

Zásuvky jsou označeny jako „1“ a „2“. Výstup je primárně přiveden na zásuvku „1“. V případě, že je ukončen odběr (termostat je vypnutý), je napájen sekundární výstup „2“. Důležité je použití bimetalového termostatu na přístroji zapojeném v zásuvce „2“. Systém nebude správně pracovat při použití termostatu elektronického. Po opětovném připojení zátěže na výstupu „1“ je napětí přivedeno zpět na tento výstup. [33][34]

Na čelní straně je kombinovaný ukazatel aktuálního stavu. Na třech displejích jsou zobrazovány hodnoty proudu a napětí FV panelů a napětí na výstupu. Dále jsou pomocí LED indikátorů signalizovány informace o překročení 80 % limitního napájecího napětí regulátoru, zapnutém MPPT modu, aktivním výstupu, aktivované tepelné ochraně a systémové chybě. Regulátor není vybaven pamětí s možností ukládání hodnot. [33][34]

Tabulka 8.1 Specifikace ECO Solar Green Boost MPPT-3000 3kW [34]

<b>Solární MPPT regulátor ECO Solar Green Boost MPPT-3000 3kW</b>	
Jmenovitý výstupní výkon [W]	3 000
Výstupní napětí [VAC/50 Hz]	120 ÷ 245
Účinnost [%]	95
Doporučený rozsah vstupního napětí [VDC]	120 ÷ 350
Maximální vstupní výkon panelů [W]	5 000
Maximální vstupní proud panelů [A]	14
Rozsah pracovních teplot [°C]	-25 ÷ 55
Ochrany	Přetížení na výstupu
	Tepelná
	Podpětí na vstupu
	Přepětí na vstupu
Nejnižší cena na trhu (březen 2023) [Kč]	6 364

### 8.1.2 Solární MPPT regulátor ECO Solar Boost MPPT-3000 PRO 3,5kW



Obrázek 8.2 Solární regulátor ECO Solar Boost MPPT-3000 PRO 3,5kW [35]

Solární regulátor ECO Solar Boost MPPT-3000 PRO 3,5kW je další zástupce z polské výroby, tentokrát od firmy AZO DIGITAL. Na první pohled se od předchozího liší svým vzhledem, který je zobrazen na obrázku 8.2. Přehled jeho vlastností je pak uveden v tabulce 8.2. [35][36]

Napěťový vstup regulátoru je vybaven párem MC4 konektorů pro zamezení možnému přepólování. Na výstupu jsou dvě zásuvky na 230 V typu E pro připojení spotřebičů. Výstup je přiveden na primární zásuvku, která je označena „1“. V případě že je ukončen odběr (termostat je vypnutý), je napájena sekundární závislá zásuvka, označena „2“. Po opětovném připojení zátěže na primární zásuvku je napětí přivedeno zpět. [35][36]

Čelní panel je doplněn LCD displejem, který informuje uživatele o aktuálním stavu systému či případných problémech. Na displeji jsou zobrazovány údaje o využití jednotlivých napěťových výstupů, včetně případného varování o připojení příliš vysoké zátěže či zkratu. Dále jsou v případě problémů uvedeny informace o přepětí či podpětí na vstupu regulátoru nebo aktivované tepelné ochraně. [35][36]

Za správných podmínek jsou při bezchybném chodu na displeji zobrazovány veličiny aktuálního vstupního napětí, proud a výkon FV panelů. Nechybí ani informace o celkové denní výrobě pro daný den. Dále celkové množství vyrobené energie za předchozí den, a nakonec celkové množství vyrobené energie od uvedení regulátoru do provozu. Záznam celkové vyrobené energie je důležitý pro kontrolu rychlosti návratnosti investice. [35][36]

Tabulka 8.2 Specifikace ECO Solar Boost MPPT-3000 PRO 3,5kW[36]

<b>Solární MPPT regulátor ECO Solar Boost MPPT-3000 PRO 3,5kW</b>	
Jmenovitý výstupní výkon [W]	3 500
Výstupní napětí [VAC/50 Hz]	150 ÷ 350
Účinnost [%]	94
Doporučený rozsah vstupního napětí [VDC]	150 ÷ 350
Maximální vstupní výkon panelů [W]	5 000
Maximální vstupní proud panelů [A]	neuveďeno
Rozsah pracovních teplot [°C]	-25 ÷ 55
Ochrany	Přetížení na výstupu
	Zkrat
	Tepelná
	Podpětí na vstupu
	Přepětí na vstupu
Nejnižší cena na trhu (březen 2023) [Kč]	8 540

### 8.1.3 Solární MPPT regulátor ECO Solar Boost MPPT-3000 3kW



Obrázek 8.3 Solární MPPT regulátor ECO Solar Boost MPPT-3000 3kW [37]

Solární regulátor ECO Solar Boost MPPT-30003kW je levnější variantou předchozího regulátoru od firmy AZO DIGITAL. Regulátor je zobrazena na obrázku 8.3 a v tabulce 8.3 jsou dále uvedené jeho vlastnosti. [37][38]

Stejně jako jeho dražší varianta PRO je i tento regulátor vybaven dvojicí MC4 konektorů pro zamezení možného přepólování. Na výstupu jsou rovněž dvě zásuvky na 230 V typu E pro připojení spotřebičů s uplatněním stejné logiky pro primární a sekundární vázaný výstup. [37][38]

Tato levnější varianta není vybavena LCD displejem, a tudíž nejsou dostupné informace o aktuálním stavu systému ani paměťová funkce umožňující přehled o celkové vyrobené energii. Namísto toho je regulátor vybaven pouze indikační LED diodou, která pomocí zelené a červené barvy a kombinací intervalů blikání signalizuje stav přístroje a případné aktivované ochrany. Pomocí tabulky uvedené v manuálu přístroje je pak možné jednotlivé signály rozlišit. [37][38]

Tabulka 8.3 Specifikace ECO Solar Boost MPPT-30003kW [38]

<b>Solární MPPT regulátor ECO Solar Boost MPPT-3000 3kW</b>	
Jmenovitý výstupní výkon [W]	3 000
Výstupní napětí [VAC/50 Hz]	150 ÷ 350
Účinnost [%]	94
Doporučený rozsah vstupního napětí [VDC]	150 ÷ 350
Maximální vstupní výkon panelů [W]	5 000
Maximální vstupní proud panelů [A]	neuveďeno
Rozsah pracovních teplot [°C]	-25 ÷ 55
Ochrany	Přetížení na výstupu
	Zkrat
	Tepelná
	Podpětí na vstupu
	Přepětí na vstupu
Nejnižší cena na trhu (březen 2023) [Kč]	5 220

### 8.1.4 Solární MPPT regulátor OPL 9AC 3 kW PUIT, se zobrazením veličin



Obrázek 8.4 Solární MPPT regulátor OPL 9AC 3 kW PUIT [39]

Solární MPPT regulátor OPL 9AC 3 kW PUIT od firmy Solar Eco je prvním českým zástupcem regulátorů pro ohřev TUV. Podoba přístroje je k vidění na obrázku 8.4. Výčet klíčových vlastností je poté uveden v tabulce 8.4 na konci oddílu. [39][40]

Pro připojení je využita svorkovnice uvnitř samotného přístroje. Přívodní a výstupní kabely musí projít přes připravené průchodky v krytu přístroje a následně být zapojeny do odpovídajících pozic na svorkovnici, tak jak je popsáno v návodu pro zapojení. Realizace připojení není tedy tak uživatelsky přívětivá v porovnání s předchozími výrobky. [39][40]

Výrobce nabízí rozšíření regulátoru o relé na přepínání zátěže, které se montuje přímo do regulátoru s připojením na připravený konektor na DPS. Toto relé může pracovat ve třech režimech, které je možné navolit v nastavení regulátoru. Pro zamýšlenou aplikaci se nejvíce hodí druhý režim, ve kterém po rozpojení zátěže na primárním spotřebiči dojde k automatickému přepnutí a napájení sekundárního spotřebiče. Každých 20 minut se poté testuje, zdali nedošlo k obnovení primární zátěže, pro případné obnovení jejího napájení. Výrobce nabízí relé za 590 Kč. [41][42]

Tento MPPT regulátor má digitální displej, který ukazuje všechny stavy chodu regulátoru stejně jako hodnoty výkonu, teploty, napětí, proudu a vyrobené energie. Samostatný regulátor ale kvůli absenci paměti neumožňuje ukládání a zobrazení dat o celkové vyrobené energii. Tento nedostatek výrobce kompenzuje dalším rozšířením v podobě LAN modul v ceně 2 500 Kč. Modul se připojuje na připravený port se čtyřmi vodiči na DPS regulátoru a nepotřebuje externí napájení. Po propojení LAN modulu s regulátorem je nutné modul ještě připojit k routeru v domácnosti. Modul začne vždy po zapnutí regulátoru odesílat data okamžitých hodnot a vykreslovat je do přehledného grafu se záznamem denních, měsíčních a ročních hodnot. Tímto způsobem je možné systém monitorovat i vzdáleně přes počítač či chytrý telefon. [43][44]

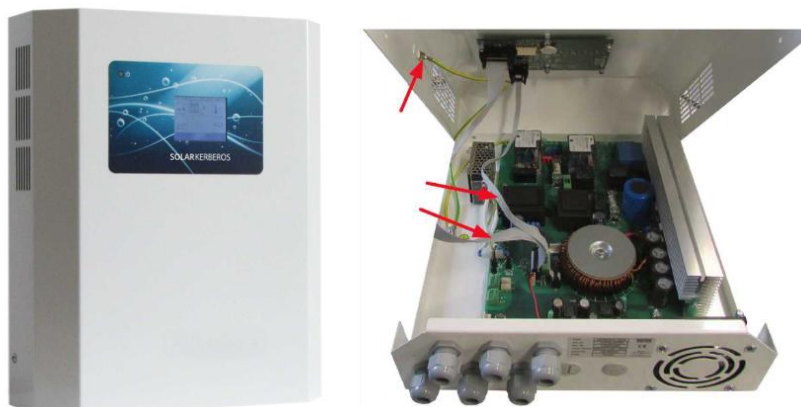
Výrobce má v nabídce také levnější variantu s absencí displeje nahrazenou LED indikací, kterou prodává o 1030 Kč levněji. Pokud budeme zvažovat variantu rozšířenou

o relé a LAN modul, je varianta regulátoru s LED indikací dostačující. Tato konfigurace vychází poté na celkovou cenu 13 540 Kč. [39][41][43]

Tabulka 8.4 Specifikace MPPT regulátoru OPL 9AC 3 kW PUIT [40]

<b>Solární MPPT regulátor OPL 9AC 3 kW PUIT, se zobrazením veličin</b>	
Jmenovitý výstupní výkon [W]	3 000
Výstupní napětí [VAC/50 Hz]	100 ÷ 260
Účinnost [%]	98,5
Doporučený rozsah vstupního napětí [VDC]	80 ÷ 400
Maximální vstupní výkon panelů [W]	5 000
Maximální vstupní proud panelů [A]	12
Rozsah pracovních teplot [°C]	-10 ÷ 50
Ochrany	Přetížení na výstupu
	Výstupní proud a výkon
	Tepelná
	Podpětí na vstupu
	Přepětí na vstupu
Nejnižší cena na trhu (březen 2023) [Kč]	13 540 (11 480 samotný regulátor)

### 8.1.5 Solar Kerberos 320.H 2kW



Obrázek 8.5 Solar Kerberos 320.H 2kW [45][46]

Solar Kerberos 320.H je dalším zástupcem české výroby, který pochází od firmy SOLAR KERBEROS. Přístroj je pro názornost zobrazen na obrázku 8.5 a výčet jeho technických parametrů je uveden v tabulce 8.5. Model 320.H má možnost využít připojení primárního bojleru a sekundárního zásobníku TUV. [45][46][47]

Přístroj využívá pro veškerá zapojení svorkovnici umístěnou přímo na DPS uvnitř přístroje. Kryt je vybaven šesti průchodkami pro přehledné vedení kabeláže. Jako vstupy se do přístroje zapojují kabely z FV panelů, síťový přívod, HDO, uzemnění a teplotní čidla, která musí být umístěna do jímky každého z bojlerů. Výstupy jsou poté regulovaná napájení pro každý spotřebič. [45][46][47]

Solar Kerberos je systémové řešení ohřevu TUV pomocí FV panelů. Ukrývá v sobě kompletní regulaci a monitoring všech podsystémů od FV panelů po bojler. Regulátor

zajišťuje ohřev TUV jak z FV, tak ze sítě a podle nastavení případně jen v nízkém tarifu. [45][46][47]

Zapojení celého systému je poněkud komplikovanější, jelikož se musí upravit zapojení samotného bojleru. Kromě umístění již zmiňovaných teplotních čidel do jímky bojleru, je třeba ještě vyřadit z provozu jeho vlastní regulaci, jako je termostat a tepelná pojistka. Jejich funkci převezme regulátor. Tepelné těleso bojleru se připojuje také přímo na regulátor. [45][46][47]

Odměnou za komplikované zapojení je možnost nastavení a kontroly veškerých hodnot na dotykovém displeji přístroje. V oddílu měniče na displeji jsou zobrazovány hodnoty vstupního napětí, výstupního napětí, proudu a výkonu, účinnosti a vlastní teploty regulátoru. V nastavení bojleru je možné nastavit teploty pro spínání ohřevu z FV a ze sítě. Dále je po zadání hodnoty příkonu spirály bojleru monitorována spotřeba energie z FV panelů i ze sítě a ukládána do grafu historie využití. Zajímavou funkcí je časování síťového ohřevu, které umožňuje nastavení teplot pro spínání ohřevu ze sítě jen pro určité časové úseky dne. [45][46][47]

Tabulka 8.5 Specifikace MPPT regulátoru Solar Kerberos 320.H 2kW [46][47]

<b>Solární MPPT regulátor Solar Kerberos 320.H 2kW</b>	
Jmenovitý výstupní výkon [W]	2 500
Výstupní napětí [VAC/50 Hz]	Dle vstupních napětí
Účinnost [%]	99
Doporučený rozsah vstupního napětí [VDC]	200 ÷ 340
Maximální vstupní výkon panelů [W]	neuvedeno
Maximální vstupní proud panelů [A]	9
Rozsah pracovních teplot [°C]	5 ÷ 40
Ochrany	Přetížení na výstupu
	Tepelná
	Podpětí na vstupu
Nejnižší cena na trhu (březen 2023) [Kč]	31 365

### 8.1.6 Regulátor napájení boileru ze solárních panelů MR4316AC NG



Obrázek 8.6 Regulátor napájení boileru MR4316AC NG [48]

Regulátor napájení bojleru ze solárních panelů MR4316AC NG je výrobkem další české firmy BEL s.r.o. Náhled na provedení přístroje je na obrázku 8.6. Přehledný výčet hlavních parametrů je poté uveden v tabulce 8.6. [48][49]

Regulátor používá pro napájení bojleru novou aktivní metodu vyhledávání pracovního bodu MPPS (Maximum Power Point Searching), která řeší problémy ztrát výkonu v porovnání s MPPT metodou. Řešené nedostatky se týkají situací, kdy fotovoltaické panely nemají stejné vlastnosti či jmenovitý výkon, mění se jejich teplota nebo nejsou rovnoměrně osvětleny. [48][49]

I u tohoto přístroje jsou veškerá připojení realizována přes svorkovnice umístěné přímo na DPS uvnitř přístroje. Na svorkovnici s názvem PANEL se připojuje plus pól a minus pól z FV panelů. Dále je možné připojit do přístroje až 2 teplotní čidla pro poskytování informací o teplotě ohřívaného bojleru. Na výstupní straně se připojuje na svorkovnici AC fázový a nulový vodič bojleru. Posledním výstupem je DC výstup s plus a minus kontaktem, na který je po odpojení zátěže na AC výstupu, automaticky přeměrováno stejnosměrné napětí přímo z panelů. Toto DC napětí není nijak regulováno. [49]

Regulátor může pracovat ve čtyřech různých režimech, které jsou v manuálu pečlivě popsány. Pro uvažovanou aplikaci v této práci je nejzajímavější třetí režim. Tento režim umožňuje napájení dvou AC spotřebičů v zapojení primárního a sekundárního vázaného spotřebiče. Jak již bylo zmíněno, dojde při odpojení zátěže primárního AC výstupu k přeměrování energie na DC výstup. Na tento výstup je následně připojen na externí spínaný zdroj, který svým 24 V výstupem dále spíná externí relé. V případě aktivovaného relé dojde k odpojení primárního spotřebiče a připojení toho sekundárního. Regulátor po nastavené době (1 s až 120 minut) vypne napětí na DC výstupu. Tím odpadne kontakt relé a k AC výstupu se opět připojí první spotřebič. Regulátor takto zkontroluje, není-li zátěž prvního spotřebiče opět připojena. Pokud není, regulátor sepne znovu DC výstup a pokračuje regulaci s druhým AC spotřebičem. [49][48]

Externí napájecí zdroj, relé či termočlánky nejsou součástí balení, nicméně výrobce je nabízí v rámci prodáváného příslušenství. Dalším rozšířením je AC/DC Wattmetr s pamětí. Wattmetr dokáže měřit napětí, proud, výkon, náboj, střidu, kmitočet a účinník. Společně s časovým údajem následně vypočítává hodnoty energie a náboje, které následně ukládá do paměti pro poslední dny, měsíce a roky. [50][51][52]

Zajímavou skutečností je, že samotný regulátor je nabízen ve třech variantách. Jako stovebnice s připravenou DPS, návodem a příloženými součástkami je nabízen za 2 700 Kč. Druhou variantou je funkční sestavený přístroj bez vnějšího krytu připravený pro montáž do rozvaděče za cenu 4 700 Kč a poslední variantou je hotový přístroj za 5 700 Kč s kompletním krytím tak, jak je na obrázku 8.6. [48]

Pokud je uvažováno využití přístroje ve třetím režimu tak jak bylo popsáno výše, bude stačit varianta pro montáž do rozvaděče, kam se zabudují i potřebné externí obvody. Doporučený externí spínaný zdroj na 24 V HDN-1524 nabízí výrobce za 400 Kč a externí

relé PEM-01/024 je za 480 Kč. Wattmetr s paměti W4320, který je možné také instalovat přímo do rozvaděče, nabízí výrobce za cenu 2 200 Kč. Cena kompletní sestavy určené pro instalaci do rozvaděče vychází na 7 780 Kč. [50][51][52]

Tabulka 8.6 Specifikace MPPS regulátoru BELMR4316AC NG [48]

<b>Regulátor napájení boileru ze solárních panelů MR4316AC NG</b>	
Jmenovitý výstupní výkon [W]	2 500 (4 000 s aktivním chlazením)
Výstupní napětí [VAC/50 Hz]	10 ÷ 250
Účinnost [%]	99
Doporučený rozsah vstupního napětí [VDC]	60 ÷ 430
Maximální vstupní výkon panelů [W]	neuveдено
Maximální vstupní proud panelů [A]	16
Rozsah pracovních teplot [°C]	5 ÷ 40
Ochrany	Přetížení na výstupu
	Tepelná
	Přepětí na vstupu
Nejnižší cena na trhu (březen 2023) [Kč]	7 780 (5 700 samotný regulátor)

## 8.2 Multikriteriální analýza výběru regulátoru TUV

Pro uvažovaný systém bylo nutné vybrat jeden z regulátorů popsanych v předchozí podkapitole, a to vždy ve verzi, která umožňuje přeměrování energie na sekundární vázaný výstup. Tento výstup bude využit pro vytápění radiátoru přebytečnou energií.

Pro výběr nejvhodnějšího regulátoru na zamýšlenou aplikaci byla zvolena bodovací metoda multikriteriální analýzy. Při této metodě obdržel každý z šesti regulátorů určitý počet bodů ze zvolené stupnice, přičemž cílem bylo získat co nejvyšší bodové skóre. [53]

Pro sestavení této stupnice bylo důležité v první řadě stanovit jednotlivá kritéria, která jsou pro výběr podstatná. Zvolená kritéria jsou uvedena v tabulce 8.7. Každému kritériu byla z uvedené škály přiřazena váha podle jeho podstatnosti. Na základě celkové sumy váhových bodů byla vypočtena normovaná váha pro jednotlivá kritéria. [53]

Tabulka 8.7 Zvolená kritéria hodnocení pro výběr regulátoru

Název	Popis kritéria	Váha	Norm. váha
K1	Nejnižší cena	5	0,25
K2	Ukládání hodnot	4	0,2
K3	Účinnost	3	0,15
K4	Počet ochran	2	0,1
K5	Integrované řešení	1	0,05
K6	Zapojení - použití nástrojů	1	0,05
K7	Technická podpora - česky	2	0,1
K8	Extra vlastnosti	2	0,1

SUMA 20 1

Škála vah	
5	absolutně podstatné
4	velmi silně podstatné
3	velmi podstatné
2	podstatné
1	málo podstatné



Normovaná váha vlastně značí procentuální zastoupení váhy daného kritéria z celkové sumy vah všech kritérií. Pokud je tedy celková suma všech vah rovna 20, pak je normovaná váha prvního kritéria s váhou 5 rovna 0,25 neboli 25 %. Analogicky lze normovanou váhu stanovit i pro ostatní kritéria. [53]

Bodovací tabulka 8.8 uvádí použité rozsahy hodnot pro udělení bodů v rámci každého kritéria.

Tabulka 8.8 Bodovací stupnice pro jednotlivá kritéria

Kritérium	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	
Body	1	(14500; 50000>	Ne	(0; 95)	(0; 1)	Ne	Ne	Ne	Ne
	2	(13000; 14500>	/	(95;96>	(1; 2>	/	/	/	/
	3	(10500; 13000>	/	(96;97>	(2; 3>	/	/	/	/
	4	(9000; 10500>	/	(97;98>	(3; 4>	/	/	/	/
	5	(7500; 9000>	/	(98;99>	(4; 5>	/	/	/	/
	6	(0; 7500>	Ano	(99; 100>	(5; 6>	Ano	Ano	Ano	Ano

V tabulce 8.9 jsou uvedeny vlastnosti jednotlivých regulátorů, použité pro udělení bodů v rámci zvolených kritérií.

Tabulka 8.9 Vlastnosti regulátorů na základě kritérií

Kritéria	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	
Značka a model regulátoru	VOLT Polska - 3000 3kW	6 364 Kč	Ne	95	4	Ano	Ano	Ne	Ne
	AZO Digital - 3000 PRO 3,5kW	8 540 Kč	Ano	94	5	Ano	Ano	Ne	Ne
	AZO Digital - 3000 3kW	5 520 Kč	Ne	94	5	Ano	Ano	Ne	Ne
	SolarEco - OPL 9AC 3 kW	13 540 Kč	Ano	98,5	5	Ne	Ne	Ano	Ano *
	Solar Kerberos - 320.H 2kW	31 365 Kč	Ano	99	3	Ano	Ne	Ano	Ano **
	BEL - MR4316AC NG	7 780 Kč	Ano	99	3	Ne	Ne	Ano	Ano ***

\* LAN modul - možnost sledování stavu odkudkoliv přes webový prohlížeč

\*\* Systémové řešení včetně řízení využití elektrické sítě

\*\*\* Možnost využití sekundárního závislého výstupu pro nabíjení baterie

Konečně tabulka 8.10 uvádí bodové zisky regulátorů za každé kritérium. Předposlední sloupec s názvem „Body“ udává celkové bodové skóre regulátorů jako skalární součin bodů získaných pro dané kritérium a odpovídající normované váhy. Na základě tohoto sloupce je poté stanoveno pořadí přístrojů od nejvyššího bodového zisku k nejnižšímu.

Tabulka 8.10 Bodové hodnocení regulátorů s celkovými výsledky.

Kritéria		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	Body *	Pořadí
Normovaná váha		0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,05	0,1	0,1		
Značka a model regulátoru	VOLT Polska - 3000 3kW	6	1	2	5	6	6	1	1	<b>3,3</b>	<b>5</b>
	AZO Digital - 3000 PRO 3,5kW	5	6	1	6	6	6	1	1	<b>4</b>	<b>4</b>
	AZO Digital - 3000 3kW	6	1	1	6	6	6	1	1	<b>3,25</b>	<b>6</b>
	SolarEco - OPL 9AC 3 kW	2	6	5	6	1	1	6	6	<b>4,35</b>	<b>2</b>
	Solar Kerberos - 320.H 2kW	1	6	6	4	6	1	6	6	<b>4,3</b>	<b>3</b>
	BEL - MR4316AC NG	5	6	6	4	1	1	6	6	<b>5,05</b>	<b>1</b>

\* Skalární součin bodů získaných za dané kritérium a odpovídající normované váhy

Podle výsledků bodovací metody vychází jako nejvhodnější možnost přístroj MR4316AC NG od firmy BEL. Tento regulátor získal nejvyšší bodový zisk ze všech šesti možností, konkrétně 5,05 bodu. Teoretická maximální možná hodnota byla 6,00 bodů.

Nejhůře hodnoceným skončil s 3,25 body solární MPPT regulátor ECO Solar Boost MPPT-3000 3kW od firmy AZO Digital, který i přes nejnižší cenu neuspěl kvůli absenci paměti a nízké účinnosti. Následoval solární MPPT regulátor ECO Solar Green Boost MPPT-3000 3kW – VOLT Polska s 3,3 body, taktéž kvůli průměrným vlastnostem a absenci paměti. Na čtvrtém místě skončil se 4,0 body solární MPPT regulátor ECO Solar Boost MPPT-3000 PRO 3,5kW – AZO Digital. Třetí byl systém 320.H 2kW od české firmy SolarKerberos, který doplatil na svou vysokou cenu a získal tak 4,3 body. Druhé místo obsadil se 4,35 body solární MPPT regulátor OPL 9AC 3 kW PUIT, se zobrazením veličin.

Velkou předností vítězného BEL regulátoru byla jeho nízká cena v kombinaci s možností ukládání hodnot a s vysokou účinností. Nespornou výhodou je také fakt, že se jedná o zařízení české výroby s velice podrobným návodem a možností technické podpory. Regulátor MR4316AC NG je ze všech zástupců nejflexibilnější, co se použití týče. Jelikož je na sekundární vázaný výstup přiváděno DC napětí z FV panelů, je možné jej při použití vhodného regulátoru využít také k nabíjení baterií.[49]

## 9. SOLÁRNÍ PANELE

System s přímou akumulací do TUV je citlivý na správně zvolené napájecí napětí z FV panelů. Pokud je napětí příliš nízké, nelze poté využít celý výkonový potenciál panelů. V opačném případě musí regulátor pracovat v nevhodném pracovním bodě. V krajním případě příliš vysokého vstupního napětí může dojít i ke zničení regulátoru. Je tedy důležité splnit následující kritéria. [49]

Prvním kritériem je správné zvolení napětí panelů vůči použité zátěži. Optimální napájecí napětí by mělo ležet mezi 100–115 % jmenovitého napětí zátěže. Obvykle se zde uvažuje 230 V, pravidlo platí ale i pro zátěže s vyšším jmenovitým napětím. Pro zamýšlený konvenční bojler je tedy optimální výstupní napětí FV panelů v rozmezí 230–265 V. [49]

Kýženého napájecího napětí je nutné dosáhnout většinou sériovým spojením panelů s odpovídajícím napětím v pracovním bodě. Hodnota tohoto napětí je uvedena na štítku panelu nebo v jeho dokumentaci. Často je označována jako  $V_{mp}$  (z anglického maximum power voltage). V ČR se označuje jako jmenovité napětí panelu. U FV panelů se hodnoty velice liší v závislosti na počtu článků a použité technologii. Pokud tedy vydělíme 265 V jmenovitým napětím panelu, získáme potřebný počet panelů zapojených do série. [49]

Toto kritérium má vrchní limit určený specifikací regulátoru. Napájecí napětí BEL regulátoru nesmí přesáhnout za žádných podmínek 430 V. Je nutné mít na paměti, že jmenovité napětí FV panelů vzrůstá se snižující se okolní teplotou. V ČR je doporučeno konfigurovat FV systémy pro limitní teploty okolí  $-25\text{ °C}$ . Pro zjištění jmenovitého napětí panelu pro teplotu  $-25\text{ °C}$  je potřeba vyhledat odpovídající graf v dokumentaci panelu. Orientačně lze také, podle výrobce BEL regulátoru, limitní hodnotu stanovit jako 115 % zmiňovaného jmenovitého napětí panelu. [49]

Druhým důležitým kritériem pro výběr FV panelů je optimální špičkový výkon panelů. Zde platí, že optimální špičkový výkon by měl ležet v rozmezí 100–125 % příkonu zátěže. Splněním tohoto kritéria je zaručen nejvýhodnější poměr mezi získanou energií a náklady na její výrobu. Jinými slovy splněním této podmínky je zaručena dobrá návratnost počáteční investice. [49]

Nesmíme zapomenout také na minimální množství roční vyrobené energie stanovené pro účely získání dotace na hodnotu 1 400 kWh/rok. To přibližně odpovídá 1 500 Wp minimálnímu instalovanému výkonu FV panelů v zamýšlené lokalitě.

### 9.1 Průzkum trhu

V návaznosti na popsání kritéria byl proveden průzkum trhu s FV panely. Kvůli zamýšlené státní dotaci bylo třeba vybírat z produktů dostupných na českém trhu.

Zároveň je při pořízení panelů na českém trhu možnost uplatnění garančních služeb prodejce.

Pokud tedy uvažujeme o využití konvenčního bojleru s příkonem tělesa 2000-2200 W, měl by celkový instalovaný výkon FV panelů ležet mezi 2 000-2 750 W s výstupním napětím mezi 230-265 V. Právě tato dvě hlavní kritéria byla zohledňována při výběru FV panelů.

### 9.1.1 Amerisolar - AS-6P30-290W

Polykrystalický panel AS-6P30-290W čínského výrobce Amerisolar je zástupcem ustupující polykrystalické technologie. Díky ověřené technologii výroby garantuje výrobce 80 % výkon panelu po dobu 30 let. Účinnost panelu s 60 články dosahuje ale pouze 17,83 %. Tabulka 9.1 uvádí potřebné informace z technického listu výrobce. Zároveň jsou zde uvedeny informace o potřebném počtu instalovaných kusů panelu pro získání odpovídajícího jmenovitého napětí soustavy, stejně tak i cenová kalkulace. [54][55]

Tabulka 9.1 Specifikace Amerisolar - AS-6P30-290W [54][55]

<b>Amerisolar - AS-6P30-290W</b>	
Jmenovitý výkon [Wp]	290
Jmenovité napětí $V_{mp}$ [V]	32,0
Napětí naprázdno $V_{oc}$ [V]	39,2
Účinnost solárního panelu [%]	17,83
Záruka na panel [roky]	20
Záruka výkonu panelu (80,6 %) [roky]	30
Rozměry (výška x šířka) [mm]	1 640 x 992
Potřebný počet instalovaných kusů [ks]	8
Instalovaná plocha [m <sup>2</sup> ]	13,02
Celkový instalovaný výkon soustavy [Wp]	2 320
Celkový jmenovité napětí soustavy [V]	256
Nejnižší cena na trhu za jeden kus (duben 2023) [Kč]	3 549
Cena za FV soustavu (duben 2023) [Kč]	28 392

### 9.1.1 Canadian Solar–HiKu CS3L-380MS

Monokrystalický solární panel HiKu CS3L-380MS od renomovaného výrobce Canadian Solar, který se vyznačuje vysokou kvalitou a spolehlivostí. Monokrystalický panel je složený ze 120 článků s technologií PERC s účinností 20,5 %. Konstrukce Half-Cut umožňuje vysokou konverzi i při částečném zastínění. V tabulce 9.2 jsou uvedeny potřebné informace z technického listu výrobce stejně jako informace o potřebném počtu instalovaných kusů panelu pro získání odpovídajícího jmenovitého napětí a cenová kalkulace soustavy. [56][57]

Tabulka 9.2 Specifikace Canadian Solar – HiKu CS3L-380MS [56][57]

<b>Canadian Solar – HiKu CS3L-380MS</b>	
Jmenovitý výkon [Wp]	380
Jmenovité napětí $V_{mp}$ [V]	34,5
Napětí naprázdno $V_{oc}$ [V]	41,2
Účinnost solárního panelu [%]	20,50
Záruka na panel [roky]	12
Záruka výkonu panelu (84,8 %) [roky]	25
Rozměry (výška x šířka) [mm]	1 765 x 1 048
Potřebný počet instalovaných kusů [ks]	7
Instalovaná plocha [m <sup>2</sup> ]	12,95
Celkový instalovaný výkon soustavy [Wp]	2 660
Celkový jmenovité napětí soustavy [V]	241,5
Nejnižší cena na trhu za jeden kus (duben 2023) [Kč]	3 494
Cena za FV soustavu (duben 2023) [Kč]	24 458

### 9.1.2 DAH Solar - DHM-T60X10/FS(BW)-460W

Monokrystalický panel DHM-T60X10/FS(BW)-460W společnosti DAH Solar je vybaven patentovanou bezrámečkovou technologií FULL SCREEN zlepšující samočištění panelů. Panel je tvořen 180 články s technologií 1/3-Cut, kdy jsou články dělené na třetiny pro zajištění vysoké účinnosti 21,32 %. Panel je konstruován jako Half-cut, což umožňuje lepší výnos i při částečném zastínění. Tabulka 9.3 uvádí technické informace o panelu stejně jako u předchozích produktů. [58][59]

Tabulka 9.3 Specifikace DAH Solar-DHM-T60X10/FS(BW)-460W [58][59]

<b>DAH Solar - DHM-T60X10/FS(BW)-460W</b>	
Jmenovitý výkon [Wp]	460
Jmenovité napětí $V_{mp}$ [V]	52,8
Napětí naprázdno $V_{oc}$ [V]	62,4
Účinnost solárního panelu [%]	21,32
Záruka na panel [roky]	12
Záruka výkonu panelu (84,8 %) [roky]	25
Rozměry (výška x šířka) [mm]	1 903 x 1 134
Potřebný počet instalovaných kusů [ks]	5
Instalovaná plocha [m <sup>2</sup> ]	10,79
Celkový instalovaný výkon soustavy [Wp]	2 300
Celkový jmenovité napětí soustavy [V]	264
Nejnižší cena na trhu za jeden kus (duben 2023) [Kč]	4 450
Cena za FV soustavu (duben 2023) [Kč]	22 250

### 9.1.1 DAH Solar - DHM-T72X10/FS(SW)-555W

Monokrystalický panel DHM-T72X10/FS(SW)-555W je konstrukčně větším příbuzným předchozího panelu. I zde firma DAH Solar využila svůj FULL SCREEN patent na bezrámečkovou konstrukci, která umožňuje vodě a nečistotám bez překážek odtékat. Tento panel je tvořen 216 články s již zmiňovaným 1/3-Cut. Panel je konstruován také jako Half-cut pro zvýšení výnosů i při částečném zastínění. V tabulce 9.4 jsou uvedeny potřebné informace z technického listu výrobce stejně jako informace o potřebném počtu instalovaných kusů panelu pro získání odpovídajícího jmenovitého napětí a cenová kalkulace soustavy. [60][61]

Tabulka 9.4 Specifikace DAH Solar - DHM-T72X10/FS(SW)-555W[60][61]

<b>DAH Solar - DHM-T72X10/FS(SW)-555W</b>	
Jmenovitý výkon [Wp]	555
Jmenovité napětí $V_{mp}$ [V]	63,2
Napětí naprázdno $V_{oc}$ [V]	74,9
Účinnost solárního panelu [%]	21,48
Záruka na panel [roky]	12
Záruka výkonu panelu (84,8 %) [roky]	25
Rozměry (výška x šířka) [mm]	2 279 x 1 134
Potřebný počet instalovaných kusů [ks]	4
Instalovaná plocha [m <sup>2</sup> ]	10,34
Celkový instalovaný výkon soustavy [Wp]	2 220
Celkový jmenovité napětí soustavy [V]	252,8
Nejnižší cena na trhu za jeden kus (duben 2023) [Kč]	5278
Cena za FV soustavu (duben 2023) [Kč]	21 112

## 9.2 Multikriteriální analýza výběru FV soustavy

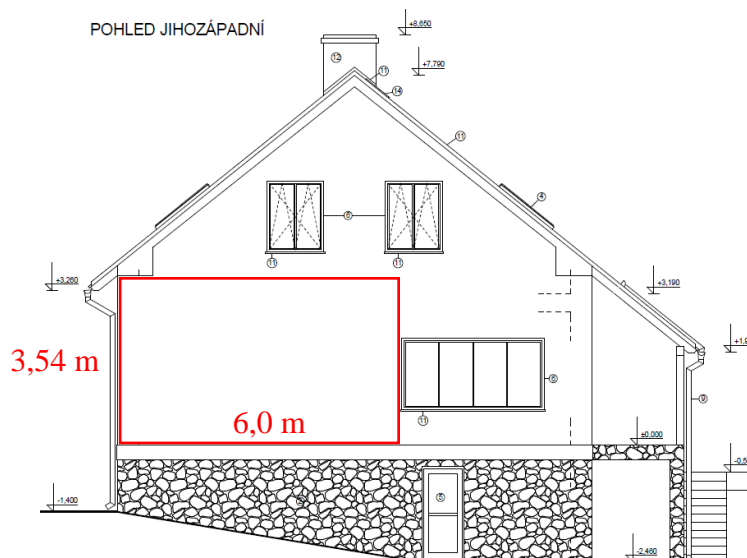
Pro uvažovaný systém bylo nutné vybrat jeden z typů FV panelů popsanych v předchozí podkapitole. Pro výběr byla znovu zvolena bodovací metoda multikriteriální analýzy. Metodika multikriteriální analýzy byla již vysvětlena v podkapitole 8.2 a nebude tedy již dále detailněji popisována. Při této metodě obdržel každý z čtveřice modelů FV panelů určitý počet bodů ze zvolené stupnice, přičemž cílem bylo získat co nejvyšší bodové skóre. [53]

Pro sestavení bodovací stupnice bylo důležité stanovit jednotlivá kritéria, která jsou pro výběr podstatná. Zvolená kritéria jsou uvedena v tabulce 9.5.

Tabulka 9.5 Zvolená kritéria hodnocení pro výběr FV soustavy

Název	Popis kritéria	Váha	Norm. váha	Škála vah	
K1	Nejnižší cena soustavy	5	0,3125	5	absolutně podstatné
K2	Účinnost	4	0,25	4	velmi silně podstatné
K3	Záruka na panel	2	0,125	3	velmi podstatné
K4	Instalovaná plocha	3	0,1875	2	podstatné
K5	Instalace FV v jedné řadě	2	0,125	1	málo podstatné
SUMA		16	1		

Kritérium K5 bylo zvoleno z praktických a estetických důvodů instalace. Majitelé by si přáli instalovat soustavu FV panelů ve svislé poloze do vymezené oblasti na jihozápadní štít domu, která je červeně zobrazena na obrázku 9.1. Vymezená plocha fasády domu je 6,0 metru široká a 3,54 metru vysoká.



Obrázek 9.1 Jihozápadní pohled – plocha k instalaci FV soustavy [27]

Bodovací tabulka 9.6 uvádí použité rozsahy hodnot pro udělení bodů v rámci každého kritéria.

Tabulka 9.6 Bodovací stupnice pro jednotlivá kritéria

Kritérium		K1	K2	K3	K4	K5
Body	1	(28000; 30000>	(0; 18>	(0;5>	(15;21>	Ne
	2	(26000; 28000>	(18; 19>	(5;10>	(14;15>	/
	3	(24000; 26000>	(19; 20>	(10;15>	(13;14>	/
	4	(22000; 24000>	(20; 21>	(15;20>	(12;13>	/
	5	(20000; 22000>	(21; 30>	(20;25>	(12;0>	Ano

V tabulce 9.7 jsou uvedeny hodnoty jednotlivých FV panelů z předchozí podkapitoly, použité pro udělení bodů v rámci zvolených kritérií.

Tabulka 9.7 Vlastnosti FV panelů na základě kritérií

Kritéria		K1	K2	K3	K4	K5
Značka a model FV	Amerisolar–AS-6P30-290W	28 392 Kč	17,83	20	13,02	Ne
	Canadian Solar–HiKu CS3L-380MS	24 458 Kč	20,50	12	12,75	Ne
	DAH Solar–DHM-T60X10/FS(BW)-460W	22 250 Kč	21,32	12	10,79	Ano
	DAH Solar–DHM-T72X10/FS(SW)-555W	21 112 Kč	21,48	12	10,34	Ano

Tabulka 9.8 uvádí bodové zisky FV panelů za každé kritérium. Sloupec s názvem „Body“ udává celkové bodové skóre regulátorů jako skalární součin bodů získaných pro dané kritérium a odpovídající normované váhy kritéria. Na základě tohoto sloupce je poté stanoveno pořadí přístrojů od nejvyššího bodového zisku k nejnižšímu.

Tabulka 9.8 Bodové hodnocení FV panelů s celkovými výsledky.

Kritéria		K1	K2	K3	K4	K5	Body *	Pořadí
Normovaná váha		0,3125	0,25	0,125	0,1875	0,125		
Značka a model FV panelu	Amerisolar–AS-6P30-290W	1	1	4	3	1	<b>1,75</b>	<b>4</b>
	Canadian Solar–HiKu CS3L-380MS	3	4	3	4	1	<b>3,19</b>	<b>3</b>
	DAH Solar–DHM-T60X10/FS(BW)-460W	4	5	3	5	5	<b>4,44</b>	<b>2</b>
	DAH Solar–DHM-T72X10/FS(SW)-555W	5	5	3	5	5	<b>4,75</b>	<b>1</b>

\* Skalární součin bodů získaných za dané kritérium a odpovídající normované váhy

Výsledky potvrdily očekávané pořadí. Podle výsledků bodovací metody vychází nejlépe soustava 4 panelů DHM-T72X10/FS(SW)-555W od firmy DAH Solar. Soustava těchto panelů získala 4,75 bodů, což byl nejvyšší bodový zisk ze všech čtyř možností. Teoretická maximální možná hodnota byla 5,00 bodů.

Na další příčce se umístila soustava pěti FV panelů DHM-T60X10/FS(BW)-460W od téže firmy. Jediným rozdílem zde byla vyšší cena z důvodu většího počtu panelů, což odpovídalo rozdílu 0,31 bodu. Třetí v pořadí skončila soustava sedmi monokrystalických panelů HiKu CS3L-380MS od firmy Canadian Solar s 3,19 body. Největším nedostatkem v tomto případě byla vyšší cena a větší instalovaná plocha. Poslední skončila soustava polykrystalických panelů AS-6P30-290W od firmy Amerisolar. Hlavním nedostatkem této soustavy byla vysoká cena, nízká účinnost.



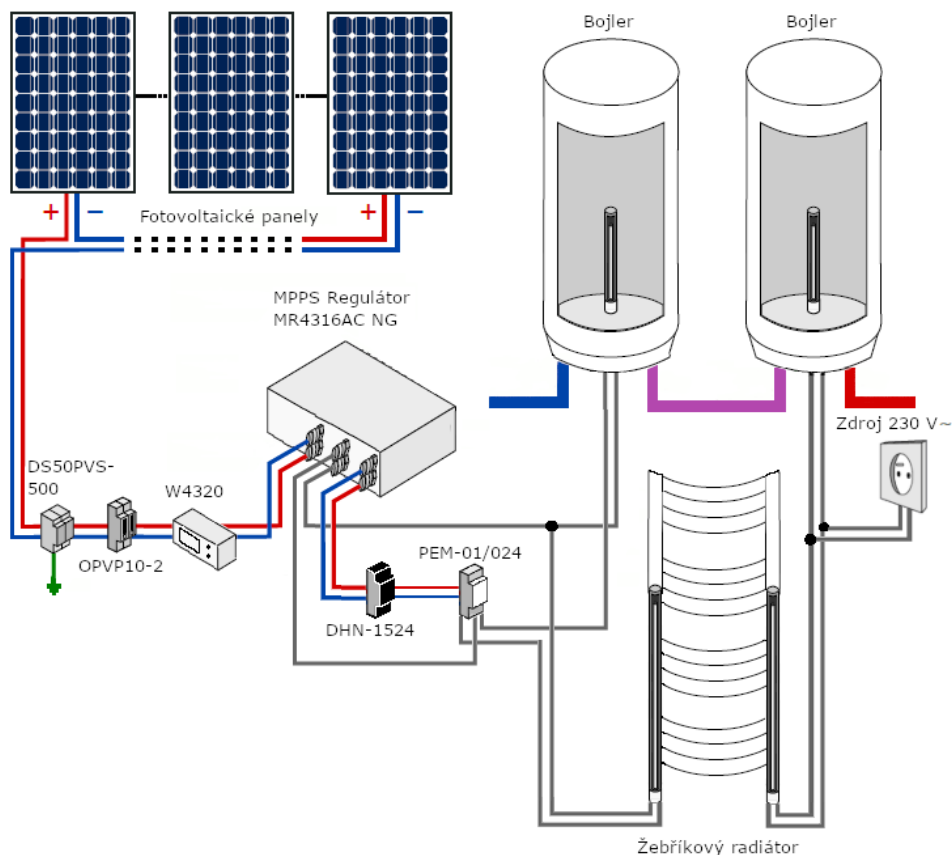
## 10. ZAPOJENÍ SYSTÉMU S VYUŽITÍM PŘEBYTKŮ

V podkapitole 8.2 byl bodovací metodou multikriteriální analýzy vybrán nejvhodnější solární regulátor pro ohřev TUV. Všechny z uvažovaných regulátorů dostupných na českém trhu nabízejí buď přímo z výroby nebo při dokoupení originálního rozšíření možnost využití přebytků elektrické energie v dalším spotřebiči skrz sekundární výstup.

Jak už bylo nastíněno v kapitole 6.1, tak nejen bojler, ale i žebříkový radiátor v koupelně spotřebovávají každý zhruba 30 % veškeré energie v domácnosti. Jelikož je i u žebříkového radiátoru elektrická energie využita k přeměně na teplo přes topnou tyč, nabízí se využití přebytků právě zde. Pro tyto účely je zamýšlená instalace druhé topné tyče do těla radiátoru.

V předchozí podkapitole 9.2 byla taktéž za použití bodovací metody multikriteriální analýzy vybrána soustava čtyř FV panelů DHM-T72X10/FS(SW)-555W od firmy DAH Solar odpovídající vstupním parametrům BEL regulátoru a zamýšleného systému.

V podkapitole 7.3 bylo stanoveno typové zapojení celého systému. Schéma kombinovaného systému se dvěma bojlerly bylo zobrazeno na obrázku 7.4. Princip celého zapojení byl detailně komentován v oddíle 7.2.4. Odkazované zapojení je potřeba doplnit o komponenty nutné pro realizaci sekundárního výstupu pro žebříkový radiátor.



Obrázek 10.1 Kombinovaný systém se dvěma bojlerly a využitím přebytků [31]

Na obrázku výše jsou představeny další důležité prvky pro zajištění správného a bezpečného chodu celého systému. Prvky byly vybírány tak, aby vyhovovaly specifikaci regulátoru MR4316AC NG a zároveň aby následovaly doporučení v jeho instalační příručce. Jednotlivé součásti jsou dále detailněji popsány. Vysvětlení funkce regulátoru v uvažovaném režimu 3 již bylo také popsáno v oddíle 8.1.6. Uvedené schéma finálního zapojení na obrázku 10.1 vychází z tohoto popisu a rad výrobce regulátoru. [49]

## 10.1 Nezbytné komponenty

Uvažované zapojení z obrázku 10.1 obsahuje komponenty, které byly zatím jen částečně představeny. V této části bude věnována větší pozornost jejich popisu a funkci.

### 10.1.1 Kabely a konektory

Funkce kabelů a konektorů není nutné blíže představovat. Slouží k elektrickému propojení celého systému. Klíčové je vždy zvolit odpovídající typ a průřez kabelu v závislosti na množství přenášeného výkonu.

Pro přenos stejnosměrného napětí ze solárních panelů musí kabely odpovídat normě EN 50618. Jednožilový kabel odpovídající této normě nese označení H1Z2Z2-K a je opatřen dvojitou izolací s očekávanou životností 25 let. Kabel se prodává standartně v červené a černé barvě s nejběžnějšími průřezy 4 mm<sup>2</sup> a 6 mm<sup>2</sup>. Pro přenos očekávaných 2 750 W s maximálním napětím 260 V a maximálním proudem do 10 A bude dostatečný průřez kabelu 4 mm<sup>2</sup>. [62]

Důležité je solární kabely opatřit odpovídajícími MC4 konektory pro připojení k soustavě solárních panelů. Konektory jsou univerzální pro průřez vodičů 2,5 – 6 mm<sup>2</sup>, maximální proud 30 A a maximální napětí 1000 V. Obsahují také gumová těsnění pro zaručení krytí IP65.[62]

Přenos střídavého napětí na výstupu regulátoru musí být realizován minimálně kabelem CYKY-J 3x1,5 nebo CYSY 3Cx2,5.

### 10.1.2 DC odpínač OPVP10-1

Pojistkový odpínač OPVP10-1 se instaluje na DC vedení z FV soustavy jako ochrana regulátoru před případným vysokým proudem. Odpínač je vybaven válcovou pojistkovou vložkou pro pojistky 10x38 a je konstruován na maximální DC napětí 440 V. Výrobce regulátoru doporučuje použití pojistky PV10 16A gG. Je potřeba použít DC odpínač na každý kabel zvlášť, tedy jeden na plus pól a druhý na minus pól. Alternativně by bylo možné použít dvoupólový DC jistič. Výhoda pojistky je ve větší citlivosti a rychlosti odpojení v případě nadlimitního proudu.[49][63]

### 10.1.3 Přepěťová ochrana

Přepěťová ochrana DS50PVS-500 se instaluje taktéž na DC vedení z FV soustavy jako ochrana regulátoru a dalších elektronických zařízení proti úderu blesku a atmosférickému

přepětí. Svodič přepětí DS50PVS-500 obsahuje vysokovýkonný varistor s tepelnou pojistkou. V případě úderu blesku odpojí tepelné odpojovací zařízení proudový obvod svodiče od připojených elektronických zařízení. Modulární konstrukce svodiče umožňuje snadnou výměnu poškozeného dílu bez nutnosti demontáže vodičů. Na vstup přepětěvé ochrany se připojují oba póly DC vedení a na výstup se připojuje vhodně dimenzovaný vodič k uzemnění. [49][64]

#### **10.1.4 AC/DC wattmetr s pamětí W4320**

Výrobce regulátoru BEL nabízí jako příslušenství AC/DC wattmetr s pamětí W4320, který dokáže měřit napětí, proud, výkon, náboj, střidu, kmitočet a účinník. Přístroj pracuje s napětím od  $\pm 60$  do  $\pm 430$  V a s proudem od 0 do  $\pm 20$  A. Wattmetr se připojuje mezi zdroj a spotřebič. Výstup z wattmetru je dále připojen na regulátor. Napájení je realizováno přímo z FV panelů. [50]

Přístroj měří neustále napětí a protékající proud a každou sekundu z naměřených hodnot vypočítá zobrazované hodnoty: střední a efektivní hodnotu napětí, střední a efektivní hodnotu proudu, výkon, kmitočet, střidu, účinník, energii a náboj. Počítaný výkon je v rozmezí mezi 0 a 8 600 W. Vzhledem k použitému principu měření dokáže wattmetr, na rozdíl od většiny běžných měřicích přístrojů, měřit opravdovou efektivní hodnotu (True RMS) proudu i napětí, nezávisle na jejich průběhu. [50]

Zvláště praktické je ukládání informací o vyrobené energii pro posledních 255 dní, 60 měsíců a 10 let. Uložené informace je možné zobrazit na LCD displeji. O každé půlnoci wattmetr ukládá do všech pamětí energie naměřené hodnoty za předchozí den. Wattmetr si také každých 12 minut ukládá výsledky měření. Díky záložní baterii CR2032, napájející obvod reálného času, dokáže navázat na předchozí měření i po výpadku napájení například přes noc nebo i při několikadenním špatném osvětlení. [50]

#### **10.1.5 HDN 1524**

Vysvětlení funkce regulátoru v uvažovaném režimu 3 bylo dříve popsáno v oddíle 8.1.6. Pro správnou funkci v tomto režimu je potřeba obvod opatřit spínaným zdrojem HDN 1524. Spínaný zdroj je připojen na DC výstup regulátoru. Na DC výstup regulátoru je přivedeno napětí FV soustavy bez jakékoliv změny. HDN 1524 má za úkol z tohoto napětí vyrobit napájecí napětí 24 V DC pro napájení cívk relé PEM-01/24. [49][51]

Jedná se o spínaný zdroj se širokým rozsahem vstupního napětí do 370 V DC. Pokud by bylo výstupní napětí FV soustavy vyšší než 370 V doporučuje výrobce regulátoru připojit na vstup spínaného zdroje Zenerovu diodu SK62. Tato dioda sníží napětí o 62 V. [49]

Ve starších materiálech výrobce regulátoru uvádí použití spínaného zdroje MDR1024, který lze tedy použít jako případnou alternativu. [49]

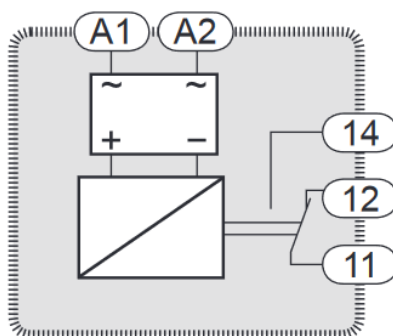
### 10.1.6 Relé PEM-01/24

Relé PEM-01/24 je v obvodu použito na přepínání fázového vodiče AC výstupu regulátoru mezi primárním a sekundárním spotřebičem čili mezi bojlerem a radiátorem. Vnitřní zapojení relé je na zobrazeno na obrázku 10.2.

Napájecí napětí 24 V DC pro relé ze spínaného zdroje HDN 1524 je připojeno ve správné polaritě na svorky A1 a A2. Fázový vodič z výstupu regulátoru je přiveden na svorku 11. Fázový vodič primárního spotřebiče je připojen na svorku 12 a fázový vodič sekundárního spotřebiče je připojen na svorku 14. [65]

Pokud je na výstup regulátoru připojena zátěž primárního spotřebiče, není relé napájeno spínaným zdrojem a kontakty 11 a 12 jsou spojené. V případě, že dojde k odpojení primární zátěže kvůli nahřátí bojleru, je přivedeno napájecí napětí na svorky A1 a A2. Princip byl popsán v předchozím oddíle. Napájecí napětí přitáhne kontakt relé a sepne kontakt mezi vodiči 11 a 14 a dojde k napájení sekundární zátěže. [65]

V regulátoru je možné nastavit prioritu testování primární zátěže od 3 do 120 minut. Po nastavené době dojde k odpojení DC výstupu regulátoru. Tím přestane být napájeno relé a spínací kontakt odpadne. Po odpadnutí kontaktu je znovu připojena primární zátěž mezi 11 a 12. Pokud je primární zátěž stále odpojená dojde znovu k připojení sekundární zátěže a celý proces se opakuje.



Obrázek 10.2 Vnitřní zapojení Relé PEM-01/24 [65]

### 10.1.7 Bojler pro ohřev TUV

Součástí zamýšleného systému je i druhý bojler. Pro splnění kritéria pro získání dotace musí být instalována nádrž s minimálním objemem 80 l/kWp. Při instalaci čtyř panelů o výkonu 555 Wp bude celkový výkon 2220 Wp. Pro tento instalovaný výkon musí být tedy objem bojleru alespoň 178 litrů.

Bojlery jsou podle různých výrobců dodávány nejčastěji v objemech 180 nebo 200 litrů. Při těchto objemech jsou do bojlerů nejčastěji montovány topné spirály 2,0-2,2 kW na něž byl celý FV systém dimenzován.

Finální volba bojleru bude učiněna později majiteli domu. Pro účely pozdějších kalkulací bude volen bojler v nižší cenové hladině.

### 10.1.8 Topná tyč s analogovým termostatem

Posledním komponentem systému je druhá topná tyč s termostatem pro žebříkový radiátor. Originální instalovaná topná tyč má příkon 860 W. Pro správnou funkci se solárním regulátorem je nutné pořídit topnou tyč s analogovým termostatem.

Výběr topné tyče s termostatem a odpovídajícím výkonem bude učiněn později majiteli domu. Do kalkulace bude zahrnuta topná tyč v nižších cenových hladinách.

## 10.2 Materiálová rozvaha

V této podkapitole bude do přehledného kusovníku v tabulce 10.1 shrnut potřebný materiál pro realizaci zamýšleného systému s adekvátním počtem kusů a cenami. Vybírány budou komponenty zmíněné v předchozích kapitolách v nižších cenových hladinách bez nákladů na dodání. Dodací náklady budou následně stanoveny odhadem.

Tabulka 10.1 Kusovník potřebného materiálu

Název	Cena za m.j.[Kč]	M.j.[m]/ [ks]	Cena[Kč]
Solární panel DAH Solar - DHM-T72X10/FS(SW)-555W	5278	4	21112
Kabel H1Z2Z2-K červený	28	20	560
Kabel H1Z2Z2-K černý	28	16	448
Konektor MC4 – pár	60	1	60
Kabel CYKY-J 3x2,5	28	5	140
DC odpínač OPVP10-1	120	2	240
Pojistka PV10 16A gG	30	4	120
Přepěťová ochrana DS50PVS-500	1 900	1	1 900
AC/DC wattmetr s pamětí W4320	2 200	1	2 200
Regulátor BEL MR4316AC NG do rozvaděče	4 700	1	4 700
Aktivní chlazení pro regulátor MR4316AC NG do rozvaděče	490	1	490
Spínaný zdroj HDN 1524	300	1	300
Relé PEM-01/24	320	1	320
Bojler 180 l	10 000	1	10 000
Topná tyč + vodoinstalační materiál	1 800	1	1 800
Konstrukce FVE + instalační materiál	8 000	1	8 000
Dodací náklady (odhad)	1 610	1	1610
		<b>SUMA</b>	<b>54 000</b>

Celkové náklady systému byly v tabulce 10.1 stanoveny na 54 000 Kč včetně DPH. Montáž a instalace systému bude probíhat svépomocí, nicméně je nutné pořídit odpovídající montážní profily a spojovací materiál. V programu Nová zelená úsporám je na tento projekt možné čerpat dotaci ve výši 50 % nákladů, avšak maximálně 40 000 Kč. Očekávaná výše získané dotace je tedy 27 000 Kč. Druhá polovina nákladů bude hrazena majiteli domu. Výsledná cena systému po odečtení dotace vychází na 27 000 Kč.

# 11. NÁVRHOVÝ PROGRAM PV\*SOL

Software PV\*SOL je návrhový program speciálně pro fotovoltaické systémy. Jeho výhodou je možnost 3D vizualizace stavby s možností vložení výkresové dokumentace či mapových podkladů z Google Earth. Bohužel v dané lokalitě nejsou veřejně dostupné mapové podklady Google Earth dostačující pro vytvoření reálného 3D modelu stavby. Na základě zmíněných informací jsou výstupem programu data o světelných podmínkách v dané lokalitě a míra zastínění každého z umístěných FV modulů. [66]

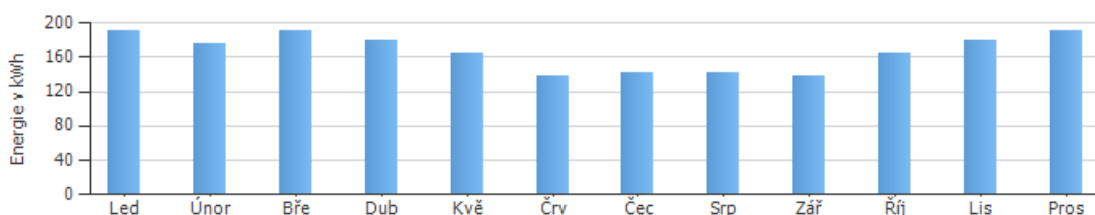
Obsažená databáze zahrnuje 21 900 FV modulů, 5 500 střídačů a 2 600 bateriových systémů pro získání nejlepšího možného výsledného řešení, kterému napomáhá i interní nástroj pro optimalizaci. Program umožňuje mimo jiné také vytvoření elektrického schéma zapojení s možností výpočtu potřebného množství kabelů a elektrických komponent s přehledným shrnutím do kusovníku. V následujících podkapitolách budou tyto i další funkce blíže představeny. [66]

Výstupní protokol celého projektu obsahuje kompletní dokumentaci od 3D náhledů stavby, plánů rozložení panelů, elektrických schémat, očekávaného ročního výnosu elektrické energie, katalogových listů použitých zařízení až po výpočet finanční analýzy s předpovědí návratnosti počáteční investice. Tento protokol je možné použít při žádosti o dotaci.

## 11.1 Konfigurace systému

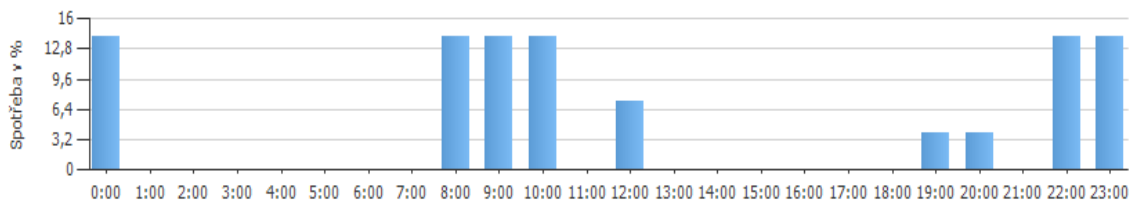
V začátku projektu je nutné celý systém správně nakonfigurovat. Program PV\*Sol však přímo nenabízí možnost fotovoltaického ohřevu vody v ostrovním systému. Po četných pokusech byla nakonec zvolena možnost FV zařízení připojené do sítě s elektrickými spotřebiči. Následné nastavení programu umožnilo úplné omezení přetoků do sítě v místě připojení. To prakticky znamená izolování regulátoru od sítě.

Dále byl jako primární spotřebič určen bojler na přípravu TUV. Vstupní data o jeho spotřebě jsou naprosto klíčovou informací pro správnou simulaci, ať už jde o celkovou roční, měsíční či denní spotřebu. Roční energetický požadavek byl na základě měření za předchozích 7 měsíců nastaven na 2 000 kWh vč. rezervy. Zmiňované výsledky, ze kterých bylo vycházeno jsou uvedeny v tabulce 6.2. Dále bylo nutné nastavení spotřeby pro každý měsíc zvlášť. Měsíční profil je uveden na obrázku 11.1.



Obrázek 11.1 Měsíční profil spotřeby bojleru v kWh

Profil denní spotřeby byl nastaven podle tabulky 6.4, ve které jsou uvedeny požadavky na množství teplé vody v průběhu dne ze strany majitelů. Denní profil byl zadán stejně pro letní i zimní měsíce, protože rozdíl ve spotřebě teplé vody je podle majitelů zanedbatelný. Výsledný denní profil je uveden na obrázku 11.2.



Obrázek 11.2 Hodinový profil bojleru v procentech z celkové denní spotřeby

Využití přebytků v žebříkovém radiátoru umožnil program nastavit jako Spotřebu přebytku s dynamickým využitím od 0 W do maximálního výkonu, který byl v tomto případě nastaven na výkon 900 W topné tyče.

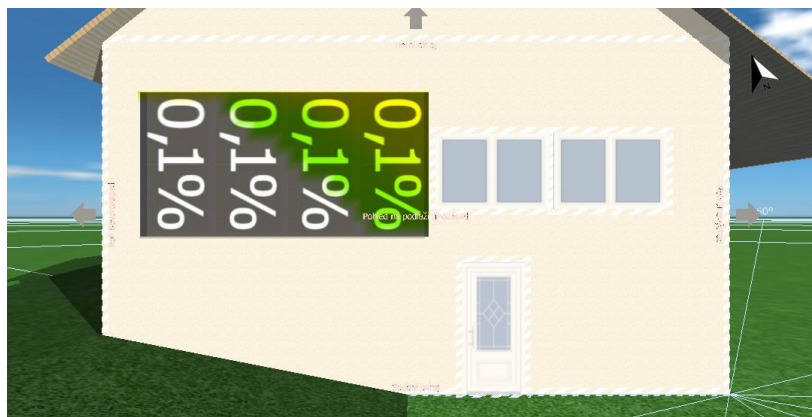
## 11.2 3D návrh a intenzita záření

Pro vytvoření 3D modelu domu byl využit předdefinovaný model domu se sedlovou střechou, u kterého byly následně upraveny rozměry podle výkresové dokumentace. Do modelu byly umístěny dveře, okna, vlastnosti krovu, střešní okna a komín. Náhled na vyhotovený model s umístěnými panely je na obrázku 11.3.



Obrázek 11.3 3D model rodinného domu s FV panely

Z údajů 3D modelu domu s umístěnými FV panely bylo dále simulováno jejich zastínění v rámci celého roku. Výsledky simulace jsou na obrázku 11.4. Je z nich patrné, že pozice FV panelů je z pohledu možného zastínění zcela optimální.



Obrázek 11.4 Simulace zastínění FV panelů

Dalším simulovaným parametrem byla celková intenzita záření dopadající na FV panely. Intenzita záření na horizontu je  $1\,135\text{ kWh/m}^2/\text{rok}$ . Množství globálního záření dopadajícího na jednotlivé plochy domu se pochopitelně liší. Intenzita globálního záření na plochu jihozápadního štítu je při svislé montáži panelů  $916,5\text{ kWh/m}^2/\text{rok}$ . Pro srovnání jsou uvedeny globální intenzity záření na plochy střechy. Pro jihovýchodní část střechy je to  $1\,105\text{ kWh/m}^2/\text{rok}$  a na severozápadní část střechy dopadá  $851,3\text{ kWh/m}^2/\text{rok}$ .

Aby bylo možné stanovit celkový roční energetický výkon instalované FV soustavy, je nutné vynásobit uvedenou hodnotu globálního záření skutečnou plochou instalované soustavy. Plocha soustavy je  $10,338\text{ m}^2$ . Hodnota FV globálního záření vychází  $9\,473,9\text{ kWh/rok}$ . V dalším kroku je nutné uvažovat jmenovitou účinnost FV modulu udávanou výrobcem na  $21,47\%$ . FV jmenovitá energie je poté  $2\,034,2\text{ kWh/rok}$ . Tato musí být dále ponížena o odchylky způsobené nízkou intenzitou světla či tolerancí FV modulů.  $1\,883,7\text{ kWh/rok}$  je hodnota FV energie (DC) bez sestupné regulace měničem. Konečně v poledním kroku je nutné uvažovat ztráty při DC/AC převodu a vlastní spotřebě regulátoru. Výsledný energetický (AC) výnos FV systému je  $1\,694\text{ kWh/rok}$ .

Přehled všech uvedených hodnot je uveden ve výstupním protokolu, který je přiložen v příloze B.1.

### 11.3 Hospodárnost projektu

Hospodárnost projektu je jednou z klíčových motivací realizace celého projektu. Do finanční analýzy byly započínány ukazatele materiálové rozvahy z podkapitoly 10.2, vstupní investice  $54\,000\text{ Kč}$  a státní dotace  $27\,000\text{ Kč}$ .

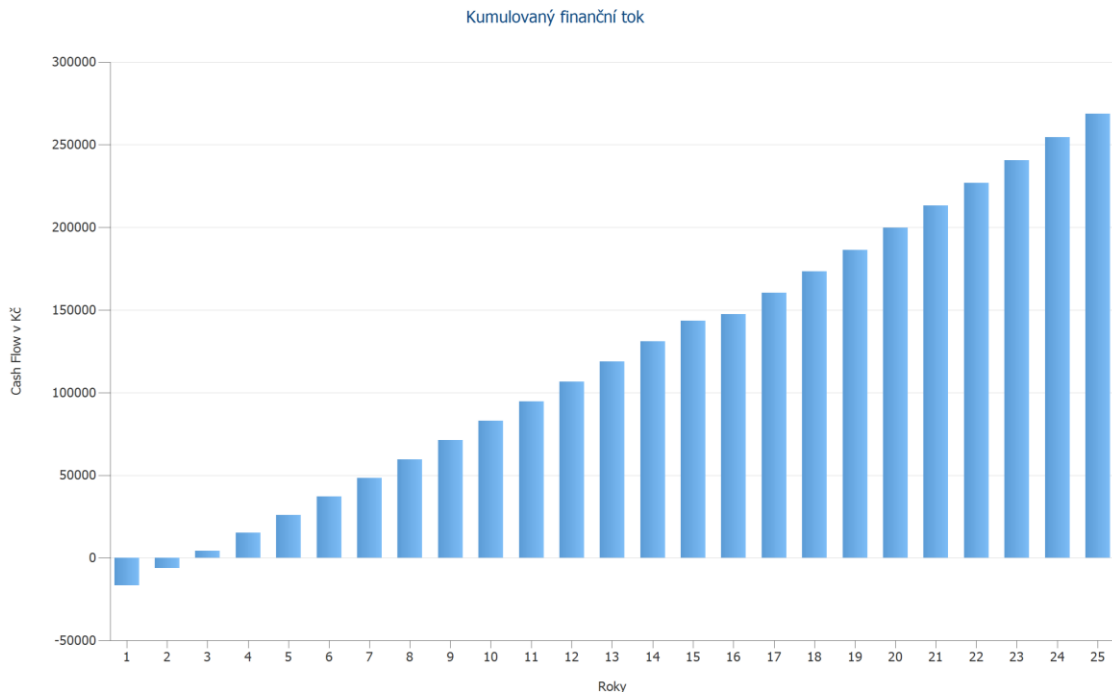
Dalším důležitým ukazatelem je sazba elektřiny odebírané ze sítě. Aktuálním dodavatelem energie je firma PRE. Majitelé mají sjednaný tarif PRE PROUD FIX



se sazbou D45d. Základní cena tarifu obsahující distribuční poplatky je 504 Kč za měsíc. Cena za odebranou kWh je poté 6,41 Kč. Majitelé mají nastavené zálohy za elektřinu na 6 500 Kč za měsíc. Koeficient změny cen elektřiny byl zvolen na 3 %/rok.

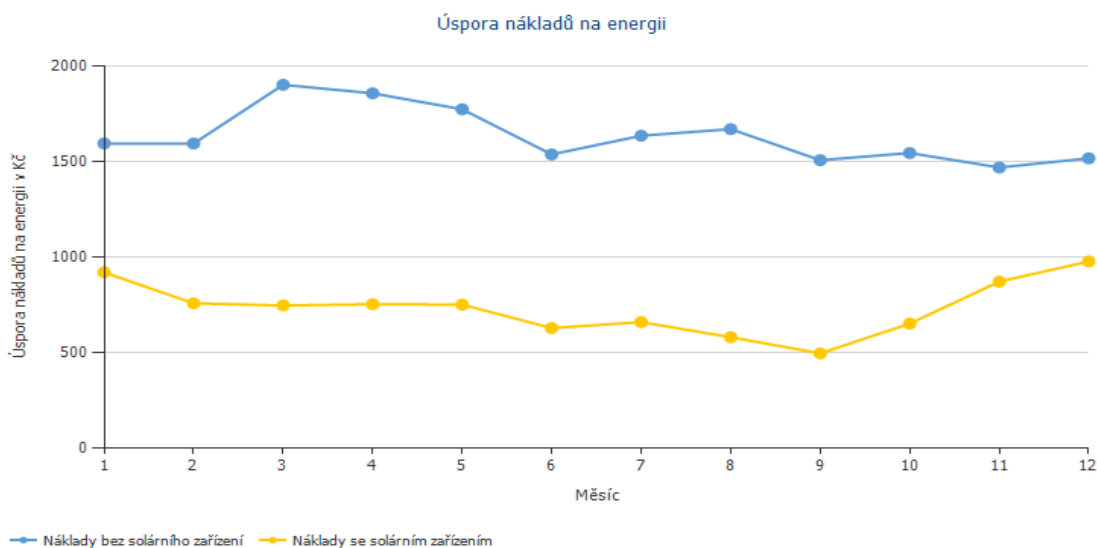
Simulovaná finanční analýza má pozitivní výsledky. Pro sledované období 25 let s uvažovaným 1 % úrokem kapitálu generuje FV systém kumulativní finanční tok 288 596 Kč. Graf kumulativního finančního toku je na obrázku 11.5. Očekávaná doba návratnosti investice je 30 měsíců.

Analýza počítá také s různou životností použitých komponent. Životnost FV panelů a nosné konstrukce je uvažována na 40 let. U použité elektroniky (AC/DC wattmetr, regulátor, aktivní chlazení, spínaný zdroj, relé) je maximální uvažovaná životnost 15 let. Z toho vyplývá, že do finanční analýzy musí být zahrnuta očekávaná investice ve výši 10 000 Kč každých 15 let. Tato investice je patrná na grafu níže v 16. roce.



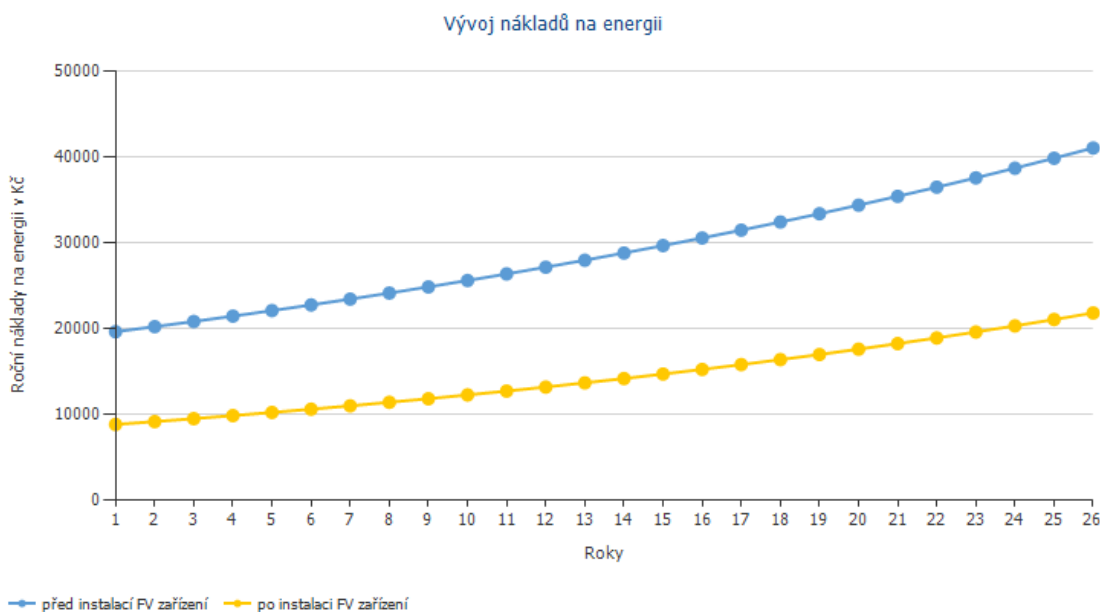
Obrázek 11.5 Kumulovaný finanční tok

Roční úspora financí díky vyrobené energii je 10 718 Kč v prvním roce. Nejvyšší úspora kolem 1 100 Kč je v jarních a letních měsících, naopak v zimních měsících je očekávaná úspora pouze kolem 600 Kč. Úspora pro každý měsíc je vidět na obrázku 11.6.



Obrázek 11.6 Měsíční úspora nákladů na energii

Na posledním uvedeném grafu z obrázku 11.7 je zobrazen vývoj nákladů na ohřev TUV v průběhu příštích 25 let s FV instalací a bez ní.



Obrázek 11.7 Vývoj nákladů na energie

## 11.4 Výstupní protokol

Výstupní protokol celého projektu je připojen v příloze B.1. Pro co nejpřesnější výsledky simulací byl zvolen minutový krok. Minimálním krokem simulace je v dotačních podmínkách krok hodinový. Závěrečný protokol splňuje všechny náležitosti pro dotační žádost.

## 12. ZÁVĚR

Diplomová práce je rozdělená na teoretickou a praktickou část. Začátek teoretické části se zabývá Sluncem jako zdrojem energie. Na tuto kapitolu logicky navazuje vysvětlení fotoelektrického jevu, který je nezbytný k přeměně energie světla na energii elektrickou. Popsaného fotoelektrického jevu se využívá ve fotovoltaických člancích, které se spojují do modulů či panelů. Jednotlivé technologie výroby panelů jsou v úvodu práce rovněž shrnuty.

S výstavbou fotovoltaické elektrárny na rodinném domě se pojí i různá legislativní nařízení, která jsou taktéž v práci popsána. V poslední kapitole teoretické části jsou pak shrnuty dotační podmínky, které musí být splněny, aby bylo možné státní dotaci na zhotovení FVE získat.

V úvodu praktické části jsou důkladně popsány vnější a vnitřní dispozice rodinného domu, které byly doplněny architektonickými nákresey pro větší názornost. Na popis stavby navazuje popis osvitových podmínek v dané oblasti.

Kapitola, která následuje, byla zaměřena na analýzu spotřeby elektrické energie v domácnosti. V analýze byla zpracována měsíční data spotřeby za posledních více než pět let. Z naměřených dat je na přelomu roku 2021 a 2022 patrný odklon od vytápění domácnosti elektřinou, čímž se razantně snížila celková roční spotřeba o 45,8 % v porovnání s průměrnou hodnotou z předchozích čtyř let.

Data měsíční spotřeby byla v posledních sedmi měsících doplněna o měření spotřeby bojleru a elektrického žebříkového radiátoru v koupelně. Tyto dva spotřebiče spotřebovávají bezmála dvě třetiny veškeré elektrické energie v domácnosti. V obou případech je elektrická energie přeměňována na energii tepelnou. Na základě těchto výsledků a faktu, že v současné době není v dané lokalitě možné připojit do distribuční sítě novou FVE, bylo rozhodnuto o konstrukci fotovoltaického systému s přímým ohřevem vody.

Ze čtyř možných variant zapojení systému byl vybrán kombinovaný systém ohřevu TUV se dvěma bojlerů. Pro větší efektivitu bylo k tomuto systému navrženo řešení pro ukládání přebytků energie do koupelnového radiátoru.

V následujících kapitolách týkajících se výběru komponent byl nejdříve pomocí multikriteriální analýzy nalezen nejvhodnější regulátor pro fotovoltaický ohřev vody. Regulátor MR4316AC NG od firmy BEL se díky MPPS modulaci vyznačuje vysokou účinností. Regulátor byl zvolen hlavně kvůli vysoké modularitě s nabízenými rozšířeními v rámci různých pracovních režimů. Roli hrála také kombinace nízké ceny a české technické podpory.

V návaznosti na specifikaci regulátoru byla taktéž pomocí bodovací metody multikriteriální analýzy vybrána nejvhodnější soustava FV panelů. Soustava se skládá ze čtyř panelů DHM-T72X10/FS(SW)-555W od firmy DAH Solar. Hlavními pozitivy

tohoto modelu byla nejnižší cena v kombinaci s nejnižší instalovanou plochou a počtem panelů.

Následně byly přehledně představeny a popsány zbývající komponenty celého systému doplněné o materiálovou rozvahu.

V poslední kapitole praktické části byla za pomoci programu PV\*Sol vyhotovena simulace osvitových podmínek z 3D modelu rodinného domu. Po zadání vstupních dat ohledně spotřeby elektrické energie, výše investice a energetickém tarifu byla vygenerována prognóza hospodárnosti celého projektu. Pro sledované období 25 let s uvažovaným 1 % úrokem kapitálu generuje FV systém kumulativní finanční tok 288 596 Kč s úsporou v první roce 10 718 Kč.

Majitelé domu jsou s výsledky práce velice spokojeni a chystají se systém uvést do provozu během letních měsíců tohoto roku. Tato práce společně s protokolem ze simulace programu PV\*Sol splňují veškeré náležitosti a budou použity pro žádost o dotaci z dotačního programu Nová zelená úsporám.

## LITERATURA

- [1] KŘIVÍK, Petr a Jiří VANĚK, 2014. *Alternativní zdroje energie* [online]. Brno [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: [https://moodle.vut.cz/pluginfile.php/363392/mod\\_resource/content/7/AZE\\_final%201.pdf](https://moodle.vut.cz/pluginfile.php/363392/mod_resource/content/7/AZE_final%201.pdf). Skripta předmětu AZE. VUT v Brně.
- [2] MATUŠKA, Tomáš, 2019. *Sluneční energie* [online]. Praha [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2019/02/AZE2-predpoklady\\_znalosti.pdf](http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2019/02/AZE2-predpoklady_znalosti.pdf). Přednášky k předmětu ZAZE. ČVUT v Praze.
- [3] Fotovoltaika v podmínkách České republiky. *ISO FEN ENERGY* [online]. České Budějovice [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>
- [4] CHROBÁK, Pavel. Alternativní zdroje energie, solární energie. *Posterus* [online]. 2012, 5.12.2012, 5(12), 6 [cit. 2022-03-20]. ISSN 1338-0087. Dostupné z: <https://www.posterus.sk/?p=14223>
- [5] HEŘMAN, Jan a Jiří PETERA. *Fotovoltaika* [online]. [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/4831759-Fotovoltaika-mgr-jiri-petera-mgr-jan-herman.html>
- [6] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011 [cit. 2022-03-20]. ISBN978-80-01-04937-2. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/cvut-2-oze.pdf>
- [7] MORAVEC, Jan. Polovodiče: PN přechod a výroba polovodičů. *Oenergetice.cz* [online]. 2016, 1.12.2016 [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/polovodice-pn-prechod-vyroba-polovodicu>
- [8] KUSALA, Jaroslav. Polovodiče. *Solární energie* [online]. Součást vzdělávacího programu SVĚT ENERGIE, 2006 [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k31.htm>
- [9] KOSMÁK, František. Princip fotovoltaického článku. *Profi ElektriKa.cz* [online]. 2009, 3.09.2009 [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://elektriKa.cz/data/clanky/princip-fotovoltaickeho-clanku>
- [10] KEKULE, Jaromír. Základy polovodičů. *Elektross.gjn* [online]. 2004, 14. 9. 2004 [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <http://elektross.gjn.cz/>
- [11] KUSALA, Jaroslav. Fotovoltaický jev. *Solární energie* [online]. Součást vzdělávacího programu SVĚT ENERGIE, 2006 [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/f8.htm#model>
- [12] POULEK, Vladislav a Martin LIBRA, 2010. Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů. *ELEKTRO: časopis pro elektrotechniku* [online]. Praha: FCC PUBLIC, 1.3.2010, 2010(3), 4 [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40646.pdf>

- [13] Construction of solar cell. *Electricalengineering123* [online]. [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://electricalengineering123.com/solar-cell-construction-working-principle/>
- [14] Crystalline Silicon PV Technology, 2012. *Utoledo.edu* [online]. Toledo: The University of Toledo, Department of Physics and Astronomy SSARE, PVIC, 23.2.2012 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: [http://astro1.panet.utoledo.edu/~relling2/teach/archives/6980.4400.2012/20120223\\_PHYS\\_6980\\_4400\\_c-Si%20PV.pdf](http://astro1.panet.utoledo.edu/~relling2/teach/archives/6980.4400.2012/20120223_PHYS_6980_4400_c-Si%20PV.pdf)
- [15] KUSALA, Jaroslav, 2006. *Výroba fotovoltaických článků a panelů* [online]. Součást vzdělávacího programu SVĚT ENERGIE [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k41.htm>
- [16] RODERICK, Alex, 2021. Fabricating Different Types of Photovoltaic Cells. *Eepower* [online]. 2.6.2021 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://eepower.com/technical-articles/photovoltaic-cell-fabrication-and-types/#>
- [17] Solar panel types | Mono, Poly and thin film PV modules, 2019. In: *Solar 2 Power* [online]. [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://solar2power.pt/solar-panel-types-mono-poly-and-thin-film-pv-modules/>
- [18] The difference between mono, poly, and thin film solar panels, 2019. *Oesolar* [online]. 26.6.2019 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://osceolaenergy.com/the-difference-between-mono-poly-and-thin-film-solar-panels/>
- [19] Different Types of Solar Panels – Which is the Best for You?, 2021. *Solar sena* [online]. 26.4.2021 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://solarsena.com/different-types-of-solar-panels/>
- [20] GREEN, Martin A. a Ewan D. DUNLOP, 2022. *Solar cell efficiency tables (Version 60)* [online]. 06.06.2022, 2022, 30 [cit. 2023-01-01]. Dostupné z: doi:10.1002/pip.3595
- [21] Výhody solární energie. *EKOTECHNIK* [online]. Praha [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://www.ekotechnik.cz/www/vyhody-solarni-energie/>
- [22] Sluneční energie: Výhody, využití i největší producenti. *EPET* [online]. Praha, 1.10.2021 [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://www.epet.cz/slunecni-energie-vyhody-vyuziti-i-nejvetsi-producenti/>
- [23] Výhody a nevýhody solární energie. *A-energy* [online]. [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://www.a-energy.cz/vyhody-a-nevyhody-solarni-energie/>
- [24] KUSALA, Jaroslav, 2006. FOTOVOLTAIKA: Solární (fotovoltaické) články. *CEZ* [online]. [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [25] Nová zelená úsporám: Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory v programu Nová zelená úsporám v rámci Národního plánu obnovy RODINNÉ DOMY, 2021. *Nová zelená úsporám* [online]. Praha: Státní fond životního prostředí ČR, 1.4.2022 [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: [https://novazelenausporam.cz/files/documents/storage/2022/04/01/1648801115\\_PV%20-%20NZ%C3%9A%20RD%20-%20III.%20Z%C3%A1vazn%C3%A9%20pokyny\\_30-03-2022\\_%C4%8Cistopis.pdf](https://novazelenausporam.cz/files/documents/storage/2022/04/01/1648801115_PV%20-%20NZ%C3%9A%20RD%20-%20III.%20Z%C3%A1vazn%C3%A9%20pokyny_30-03-2022_%C4%8Cistopis.pdf)

- [26] FOTOVOLTAIKA: metodická pomůcka Ministerstva pro místní rozvoj k umístování, povolování a užívání fotovoltaických staveb a zařízení. *Ministerstvo pro místní rozvoj* [online]. Praha, 2019 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: [https://www.mmr.cz/getattachment/5fea7bea-6918-422a-9ae8-4ca36019bf89/Metodika-fotovoltaika\\_srpen-2019.pdf.aspx?lang=cs-CZ&ext=.pdf](https://www.mmr.cz/getattachment/5fea7bea-6918-422a-9ae8-4ca36019bf89/Metodika-fotovoltaika_srpen-2019.pdf.aspx?lang=cs-CZ&ext=.pdf)
- [27] OUBRAMOVÁ, Pavlína, 2009. Projektová dokumentace stavby: Půdní vestavba rodinného domu, č.p. 54 Ústrašice. Želeč: Ing. Ladislav Čížek.
- [28] Fotovoltaický ohřev vody. *Profit Solar s.r.o.* [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <http://www.profitsolar.cz/o-nas/fotovoltaicky-ohrev-vody/>
- [29] ZEMKOVÁ, Barbora. Fotovoltaický ohřev vody: Vyplatí se?. *Elektrina.cz* [online]. 16.4.2020 [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/fotovoltaicky-ohrev-vody>
- [30] Typy zapojení FV soustav na ohřev vody. *SOLARECO* [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://www.solareco.cz/fotovoltaicky-ohrev-vody>
- [31] Návod k obsluze a Instalační příručka: Revize 7 - MPPT regulátor OPL 9AC pro fotovoltaický ohřev vody Varianty 2 kW, 3 kW. *SolarEco* [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: [https://eshop.solareco.cz/index.php?controller=attachment&id\\_attachment=1](https://eshop.solareco.cz/index.php?controller=attachment&id_attachment=1)
- [32] *MPPT regulátory pro FV ohřev vody* [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.atom-safe.cz/c/fotovoltaika/regulatory-nabijeni/mppt-regulatory-pro-fv-ohrev-vody>
- [33] GREEN BOOST MPPT 3000 VOLT POLSKA. *Tme.eu* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/details/mppt-3000/fotovoltaicke-moduly/volt-polska/green-boost-mppt-3000/>
- [34] PRODUCT MANUAL - GREEN BOOST 3000: ECO SOLAR BOOST FOR HEATING WATER, BOILER. *Tme.eu* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: [https://www.tme.eu/Document/8a81b7d3d9c48bcfdaef4f502a588b0c/MPPT-3000\\_EN.pdf](https://www.tme.eu/Document/8a81b7d3d9c48bcfdaef4f502a588b0c/MPPT-3000_EN.pdf)
- [35] Invertor pro solární ohřev vody MPPT-3000 3,5kW PRO. *ELventil.cz* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: [https://www.elventil.cz/invertor-pro-solarni-ohrev-vody-mppt-3000-3-5kw-pro?gclid=CjwKCAjwzuqgBhAcEiwAdj5dRu4nM1zHb91g\\_GcXIen3I\\_GNdFu\\_SkHGgs0LFaWGO\\_2bKvbYnS9OnRoCuwwQAvD\\_BwE](https://www.elventil.cz/invertor-pro-solarni-ohrev-vody-mppt-3000-3-5kw-pro?gclid=CjwKCAjwzuqgBhAcEiwAdj5dRu4nM1zHb91g_GcXIen3I_GNdFu_SkHGgs0LFaWGO_2bKvbYnS9OnRoCuwwQAvD_BwE)
- [36] MPPT PRO ECO Solar Boost MPPT-3000. *Tme.cz* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/f456cf6ffa5ede06b7fc95073b0cd0b3/INS-MPPT-3000-PRO.pdf>
- [37] SOLAR BOOST MPPT-3000 AZO DIGITAL. *Tme.eu* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/de/details/azo-mppt-3000/photovoltaische-module/azo-digital/solar-boost-mppt-3000/>
- [38] PV SOLAR INVERTER ECO Solar Boost MPPT-3000. *Tme.eu* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/59ae6d73d97dd560d792fd3747a65bd9/MPPT-3000-EN.pdf>

- [39] MPPT regulátor OPL 9AC 3kW - PUIT pro fotovoltaický ohřev vody se zobrazením veličin. *SolarEco* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://eshop.solareco.cz/mppt-regulatory/261-mppt-regulator-fotovolticky-ohrev-vody-opl-9ac-3kw-puit.html>
- [40] Specifikace regulátorů SolarEco OPL 9AC. *SolarEco* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: [https://eshop.solareco.cz/index.php?controller=attachment&id\\_attachment=2](https://eshop.solareco.cz/index.php?controller=attachment&id_attachment=2)
- [41] RELÉ na přepínání zátěže. *SolarEco* [online]. [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://eshop.solareco.cz/home/242-rele-30a-na-prepinani-zateze.html>
- [42] RELÉ - Návod a instalace. *SolarEco* [online]. [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: [https://eshop.solareco.cz/index.php?controller=attachment&id\\_attachment=163](https://eshop.solareco.cz/index.php?controller=attachment&id_attachment=163)
- [43] LAN modul pro regulátory OPL AC. *SolarEco* [online]. [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://eshop.solareco.cz/lan-moduly/241-lan-modul-pro-mppt-opl.html>
- [44] Návod k obsluze: LAN modul pro regulátory OPL AC. *SolarEco* [online]. [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: [https://eshop.solareco.cz/index.php?controller=attachment&id\\_attachment=142](https://eshop.solareco.cz/index.php?controller=attachment&id_attachment=142)
- [45] Fotovoltaický ohřev vody Solar Kerberos 320.H 2kW. *ECOprodukt.cz* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: [https://ecoprodukt.cz/p/68590-fotovolticky-ohrev-vody-solar-kerberos-320-h-2kw-9694?gclid=Cj0KCQjwxMmhBhDJARIsANFGOSvX5qIbT-2wY0ykvH6O8SFFObhd6JQbMc\\_L8Mkpk0kRSMRSmTgRVK4aAu7TEALw\\_wcB#downloads](https://ecoprodukt.cz/p/68590-fotovolticky-ohrev-vody-solar-kerberos-320-h-2kw-9694?gclid=Cj0KCQjwxMmhBhDJARIsANFGOSvX5qIbT-2wY0ykvH6O8SFFObhd6JQbMc_L8Mkpk0kRSMRSmTgRVK4aAu7TEALw_wcB#downloads)
- [46] Solar Kerberos 320.B - Instalační mauál. *SolarKerberos* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://d1dy1ppyyuurun.cloudfront.net/web/image/10828592-210d7da/False>
- [47] Solar Kerberos - Data Sheet. *SolarKerberos* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://shop.solartec.eu/user/documents/upload/produktove-katalogy-PDF/Solar%20Kerberos/data%20sheet%20solar%20kerberos%2020160606%20cz.pdf>
- [48] Regulátor napájení boileru ze solárních panelů MR4316AC NG. *BEL shop* [online]. [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.bel-shop.eu/regulator-napajeni-boileru-ze-solarnich-panelu-mr4316ac-ng/>
- [49] Regulátor MR4316AC NG - manuál. *BEL shop* [online]. [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.bel-shop.eu/obchody/bel.shop5.cz/prilohy/1/regulator-napajeni-boileru-ze-solarnich-panelu-mr4-acf722.pdf>
- [50] AC/DC wattmetr s pamětí W4320. *BEL shop* [online]. [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.bel-shop.eu/ac-dc-wattmetr-s-pameti-w4320/>
- [51] Spínaný zdroj HDN-1524. *BEL shop* [online]. [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.bel-shop.eu/spinany-zdroj-hdn-1524/>
- [52] Relé PEM01/024. *BEL shop* [online]. [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.bel-shop.eu/rele-pem01-024/>



- [53] KOVÁŘ, Šimon. Hodnocení variant a výběru nejvhodnějšího řešení: Metodika konstruování. *Technická univerzita Liberec* [online]. [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: [https://elearning.tul.cz/pluginfile.php/394577/mod\\_resource/content/2/3\\_20200111\\_Hodnoceni\\_variant.pdf?forcedownload=1](https://elearning.tul.cz/pluginfile.php/394577/mod_resource/content/2/3_20200111_Hodnoceni_variant.pdf?forcedownload=1)
- [54] Xtend Solarmi AS-6P30-290W: Solární panel, polykrystalický, 290Wp, 60 článků, model Amerisolar AS-6P30-290W, stříbrno-modrý. *I4wifi.cz* [online]. [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://www.i4wifi.cz/cs/272202-xtend-solarmi-as-6p30-290w>
- [55] Technický list: Amerisolar AS-6P30 270W - 300W. *I4wifi.cz* [online]. [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://eshop.100mega.cz/img.asp?attid=7275824>
- [56] Solární panel Canadian Solar 380Wp CS3L-380MS. *Solars.cz* [online]. [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://www.solars.cz/product-page/sol%C3%A1rn%C3%AD-panel-canadian-solar-380wp-cs3l-380ms-%C4%8Dern%C3%BD-r%C3%A1m>
- [57] Technický list: CanadianSolar - HiKu SC3L - 360W~385W. *Solars.cz* [online]. [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: [https://drive.google.com/file/d/1mG7BcAP4huvjI ZZK\\_XMdk98grCjQKDrX/view](https://drive.google.com/file/d/1mG7BcAP4huvjI ZZK_XMdk98grCjQKDrX/view)
- [58] DAH SOLAR Solární panel DHM-T60X10/FS(BW)-460W. *Battery-import.cz* [online]. [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://www.battery-import.cz/ramove-velke/dah-solar-solarni-panel-dhm-t60x10-fs-bw-460w/>
- [59] Technický list: DAH Solar - DHM-T60X10/FS(BW) - 450-465W. *Battery-import.cz* [online]. [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: [https://www.battery-import.cz/user/documents/DAH\\_DHM-T60X10FS\(BW\)\\_460W.pdf](https://www.battery-import.cz/user/documents/DAH_DHM-T60X10FS(BW)_460W.pdf)
- [60] DAH Solar DHM-T72X10/FS(SW)-555W: Solární panel, monokrystalický, 555Wp, 216 článků, 1/3-cut, 63,2V, účinnost 21,48%. *I4wifi.cz* [online]. [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://www.i4wifi.cz/cs/290182-dah-solar-dhm-t72x10-fs-sw-555w>
- [61] Technický list: DAH Solar DHM-T72X10/FS(SW)-555W. *I4wifi.cz* [online]. [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://eshop.100mega.cz/img.asp?attid=8641027>
- [62] Fotovoltaika - solární kabely. *Vselektro.eu* [online]. 13.1.2021 [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://www.vselektro.eu/fotovoltaika-solarni-kabely/>
- [63] Pojistkové systémy Varius: OPVP10-1: Pojistkový odpínač. *OEZ* [online]. [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.oez.cz/opvp10-1>
- [64] CITEĽ: DS50PVS-500: Přepěťová ochrana pro fotovoltaiku typu 2. *CITEĽ* [online]. [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.citel.cz/produkty/ds50pvs/#DS50PVS-500>
- [65] Technický list: PEM-01 ELECTROMAGNETIC RELAY. *Tme.eu* [online]. [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/741f51f5f7ada3da3b2b5c5c8bbe9048/pem01en.pdf>
- [66] PV\*SOL® premium. *Valentin software* [online]. [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/>

# SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

3D	Trojrozměrná/-á/-é
A	Jednotka proudu (amper)
AC	Střídavý proud (alternating current)
AGM	Typ baterie (absorbent glass mat)
DC	Stejnoseměrný proud (direct current)
DPS	Deska plošných spojů
FV	Fotovoltaický/-á/-é
FVE	Fotovoltaická elektrárna
FVS	Fotovoltaický systém
Hz	Jednotka frekvence (herz)
IBC	Technologie výroby FV panelů – integrovaný zadní kontakt (interdigitated back contact)
kWh	Jednotka energie (kilowatthodina)
kWp	Jednota instalovaného výkonu (kilowattpeak)
LAN	Lokální počítačová síť (local area network)
LCD	Technologie výroby displeje (liquid crystal display)
LED	Typ světelné diody (light emitting diode)
MPPT	Sledování bodu maximálního výkonu (maximum power point tracking)
MPPS	Vyhledávání bodu maximálního výkonu (maximum power point searching)
N	Polovodič typu N s negativním nosičem proudu (elektrony)
Ni-Fe	Typ akumulátoru Nikl-Železo
Ni-MH	Typ akumulátoru (Nickel-metal hydride)
P	Polovodič typu P s pozitivním nosičem proudu (díry)
PERC	technologie výroby FV panelů (passivated emitter and rear contact)
PN	PN přechod mezi polovodičem typu P a N
PIN	Struktura polovodiče typu P, intrinsického (vlastního) polovodiče a polovodiče typu N
ppm	jedna miliontina celku (parts per milion)
ppb	jedna miliardtina celku (parts per bilion)
PWM	Pulzně šířková modulace
True RMS	Přesné měření efektivní hodnoty u střídavých signálů (true root means square)
TUV	Teplá užitková voda
VAC	Střídavé napětí

VDC	Stejnoseměrné napětí
W	Jednotka výkonu (watt)
Wh	Jednotka energie (watthodina)
Wp	Jednotka instalovaného výkonu (wattpeak)

# SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - SPOTŘEBA .....	77
PŘÍLOHA B - PV*SOL .....	78

# Příloha A - Spotřeba

## A.1 Měsíční spotřeba

Datum	Spotřeba [kWh]	Datum	Spotřeba [kWh]
01.10.2017		01.08.2020	696,6
01.11.2017	1003,0	01.09.2020	805,0
01.12.2017	1758,9	01.10.2020	819,5
01.01.2018	1703,4	01.11.2020	846,9
01.02.2018	1680,2	01.12.2020	1077,0
01.03.2018	1802,4	01.01.2021	1364,8
01.04.2018	1710,8	01.02.2021	1436,2
01.05.2018	1029,0	01.03.2021	1457,0
01.06.2018	660,0	01.04.2021	1444,0
01.07.2018	682,0	01.05.2021	1034,6
01.08.2018	682,0	01.06.2021	732,6
01.09.2018	347,0	01.07.2021	686,1
01.10.2018	763,0	01.08.2021	709,0
01.11.2018	903,0	01.09.2021	709,0
01.12.2018	1057,7	01.10.2021	1018,1
01.01.2019	1362,8	01.11.2021	795,4
01.02.2019	1497,6	01.12.2021	742,1
01.03.2019	1659,7	01.01.2022	830,0
01.04.2019	1128,6	01.02.2022	715,0
01.05.2019	1014,7	01.03.2022	704,0
01.06.2019	1073,7	01.04.2022	737,1
01.07.2019	582,8	01.05.2022	688,9
01.08.2019	575,9	01.06.2022	601,5
01.09.2019	640,0	01.07.2022	442,3
01.10.2019	840,7	01.08.2022	484,7
01.11.2019	852,3	01.09.2022	478,1
01.12.2019	980,0	01.10.2022	457,0
01.01.2020	1349,0	01.11.2022	513,0
01.02.2020	1527,7	01.12.2022	442,0
01.03.2020	1448,3	01.01.2023	593,0
01.04.2020	1550,0	01.02.2023	616,0
01.05.2020	1187,1	01.03.2023	606,0
01.06.2020	1148,9	01.04.2023	630,0
01.07.2020	819,0	01.05.2023	634,0

## **Příloha B - PV\*Sol**

### **B.1 Výstupní zákaznický protokol**

Pavel Wiesner  
Ústašice 54,  
Planá nad Lužnicí

**Název projektu:** Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům v lokalitě Ústašice.

16.05.2023

## Váš FV systém

Adresa instalace

---

---



### Popis projektu:

Seznámit se s principem fotovoltaického děje a provést analýzu a rozbor používaných FV technologií pro výrobu FV článků. Provést rozbor technologií pro akumulátorové úložiště dle parametrů jednotlivých typů baterií. Zaměřit se na vyhodnocení trhu v ČR (výhody, dotace, podmínky, legislativa). V praktické části následujících prací bude proveden návrh různých řešení FVE + bateriové úložiště pro dvoučlennou domácnost v rodinném domě s ohřevem vody bojlerem a provádět multikriteriální analýzu s porovnáním varianty bez bateriového úložiště a přímým ohřevem vody.

## Přehled projektu



Obrázek: Obrazový přehled, 3D Návrh

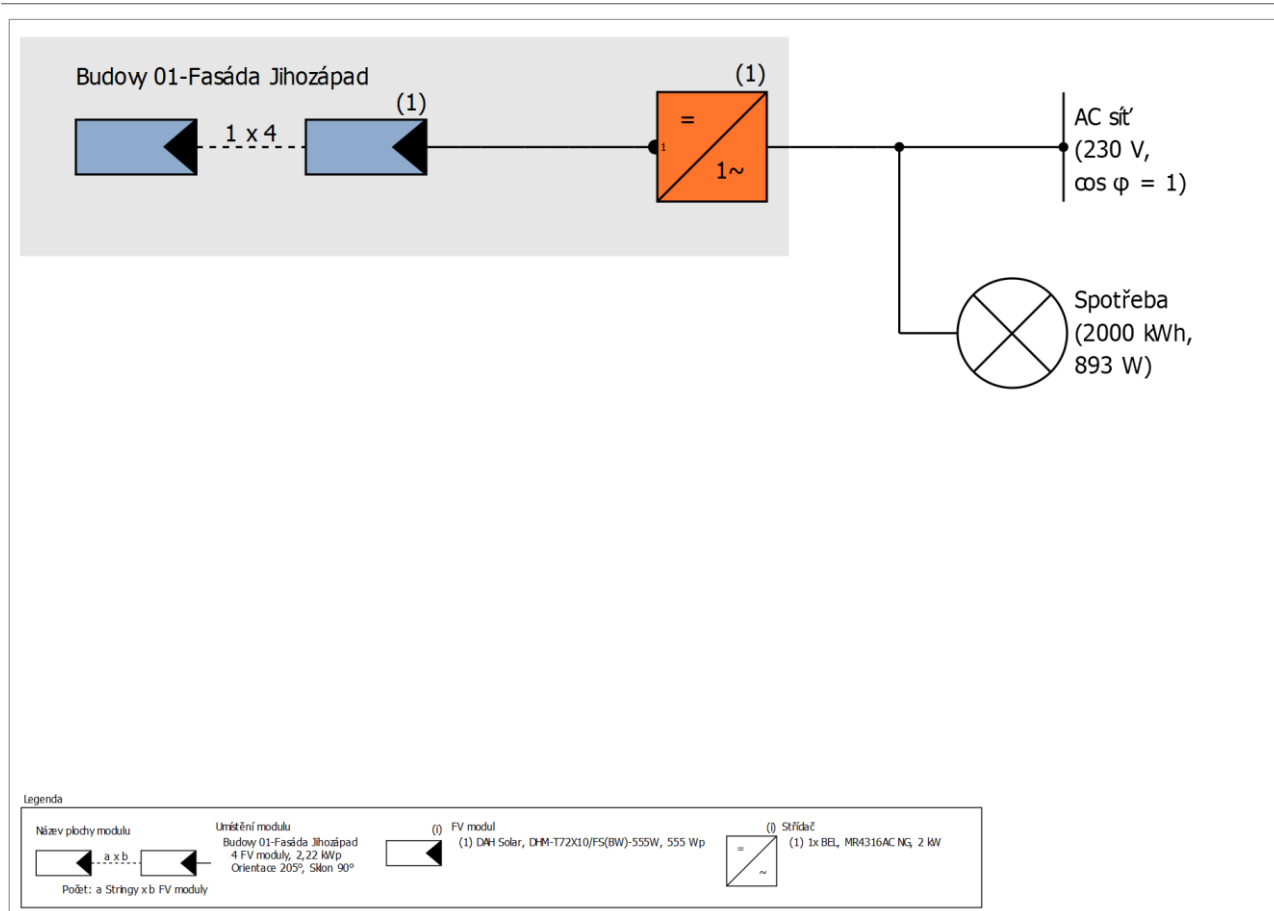
## FV systém

3D, FV zařízení připojené do sítě s elektrickými spotřebiči

Klimatická data	ústrašice, CZE (1996 - 2015)
Zdroj hodnot	Meteonorm 8.1(i)
Instalovaný výkon	2,22 kWp
Plocha FV modulů	10,3 m <sup>2</sup>
Počet FV modulů	4
Počet měničů	1



## Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům v



Obrázek: Schéma zapojení

## Prognóza výnosů

### Prognóza výnosů

Instalovaný výkon	2,22 kWp
Spec. Roční výnos	735,96 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	81,88 %
Snížení výnosu zastíněním	4,1 %
Energetický výnos FVS (AC síť)	1 656 kWh/Rok
Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení	253 kWh/Rok
Snížení emisí CO <sub>2</sub>	649 kg/rok
Stupeň soběstačnosti	46,1 %

## Hospodárnost

### Váš zisk

Celkové investiční náklady	10 000,00 Kč
Vnitřní míra návratnosti (IRR)	40,84 %
Doba amortizace	2,6 Roky
Vlastní výrobní náklady elektrické energie	1,1711 Kč/kWh
Energetická bilance / Princip napájení	Měření čisté spotřeby

Výsledky byly zjištěny matematickým modelovým výpočtem firmy Valentin Software GmbH (algoritmy PV\*SOL). Skutečné výnosy solární elektrárny se mohou lišit z důvodu výkyvů počasí, stupně účinnosti modulů a měničů a také jiných faktorů.

## Konstrukce zařízení

### Přehled

#### Data zařízení

Druh zařízení 3D, FV zařízení připojené do sítě s elektrickými spotřebiči

#### Klimatická data

Lokalita ústrašice, CZE (1996 - 2015)

Zdroj hodnot Meteonorm 8.1(i)

Řešení dat 1 min

#### Použité simulační modely:

- Difúzní záření na vodorovné rovině Hofmann

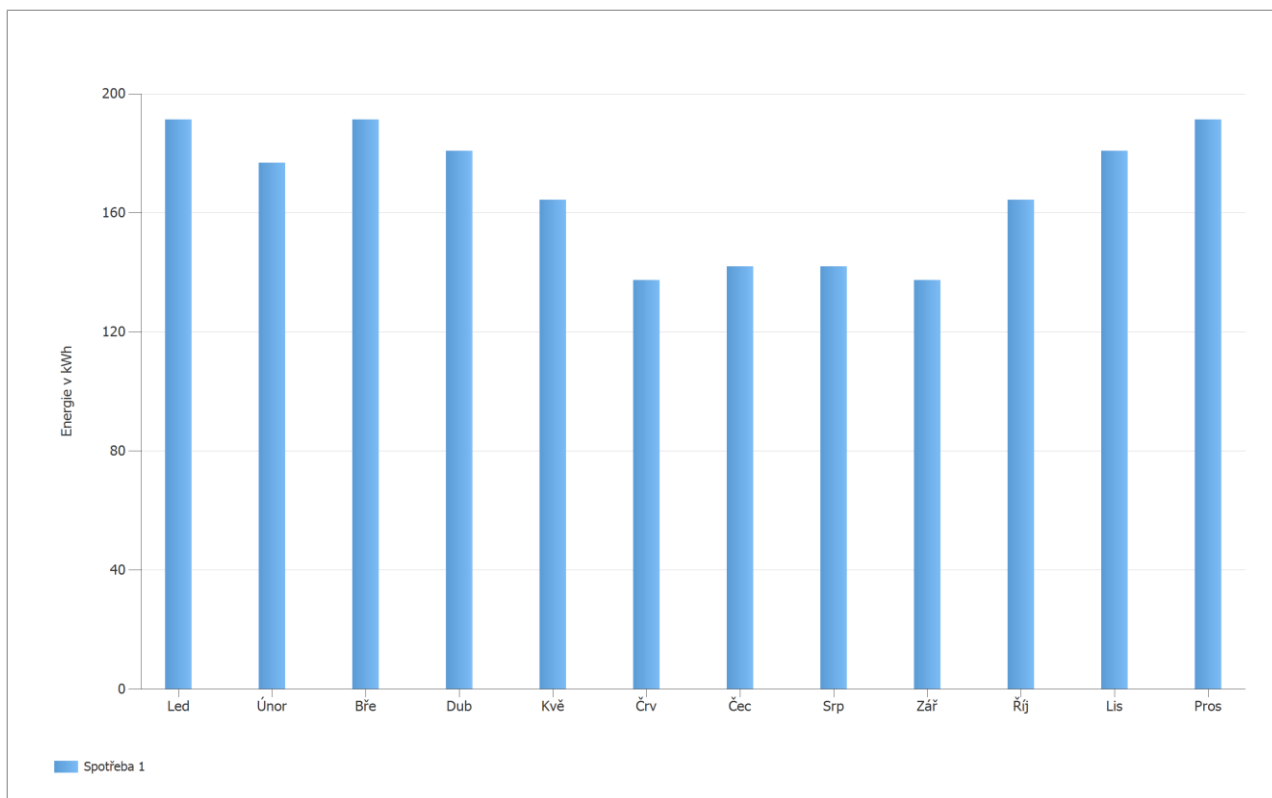
- Intenzita záření na skloněnou plochu Hay & Davies

#### Spotřeba

Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby 2000 kWh

bojler 2000 kWh

Špičkové zatížení 0,9 kW



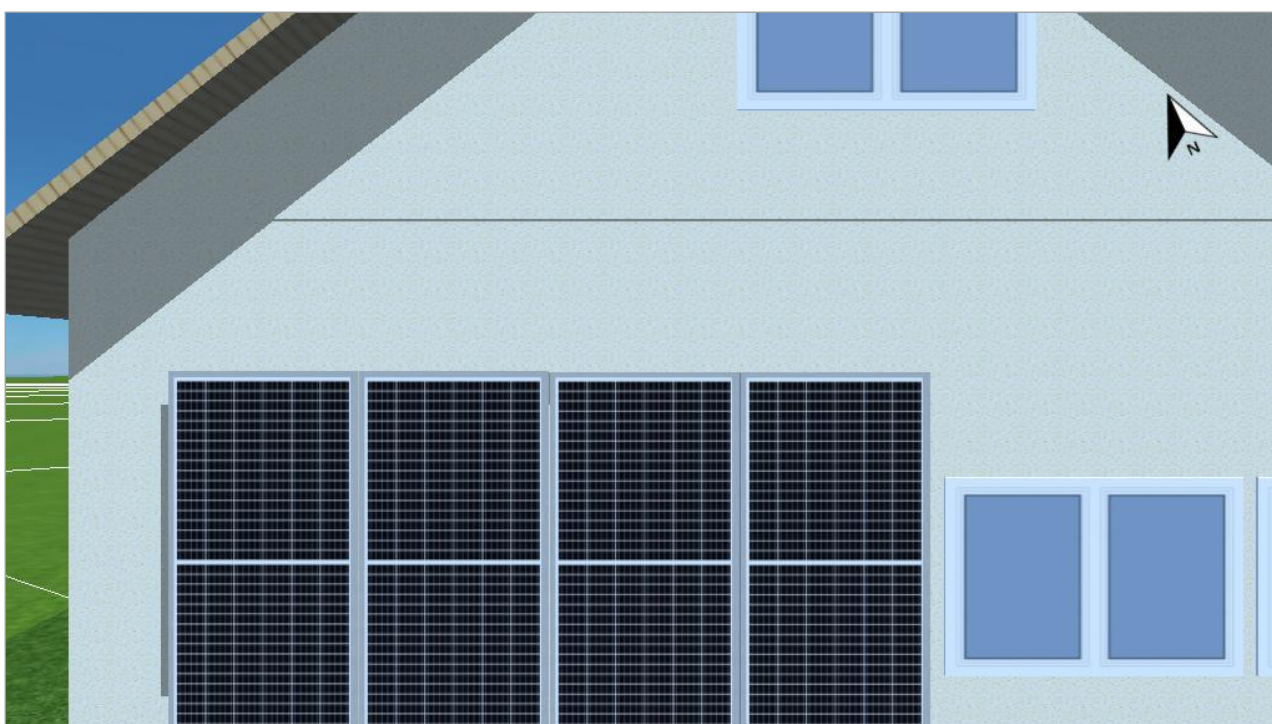
Obrázek: Spotřeba

## Plochy modulů

### 1. Umístění modulu - Budovy 01-Fasáda Jihozápad

#### FV generátor, 1. Umístění modulu - Budovy 01-Fasáda Jihozápad

Jméno	Budovy 01-Fasáda Jihozápad
FV moduly	4 x DHM-T72X10/FS(BW)-555W (v1)
Výrobce	DAH Solar
Sklon	90 °
Orientace	Jihozápad 205 °
Situace při vestavbě	Montáž na stojanech na střeše
Plocha FV modulů	10,3 m <sup>2</sup>



Obrázek: 1. Umístění modulu - Budovy 01-Fasáda Jihozápad

## Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům v

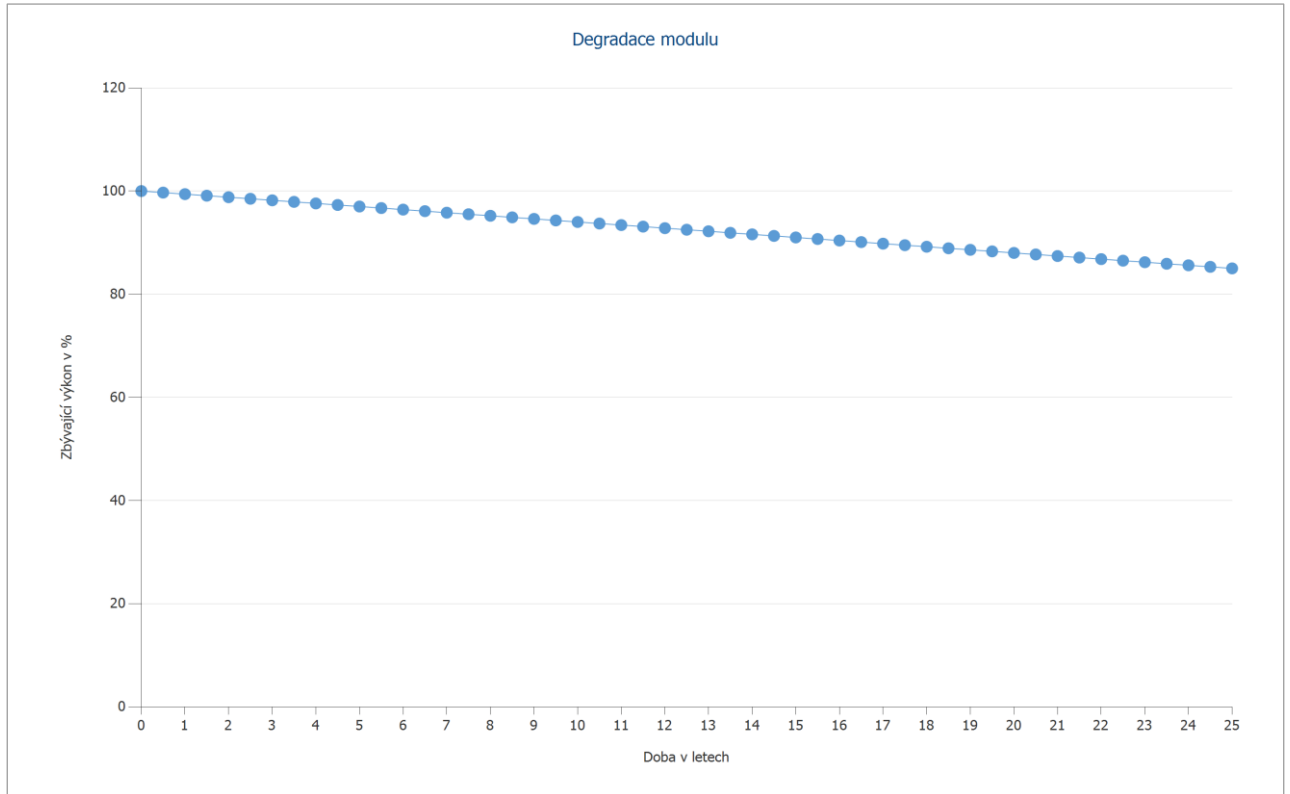
### Degradace modulu, 1. Umístění modulu - Budovy 01-Fasáda Jihozápad

Charakteristická křivka

Lineární (přímka)

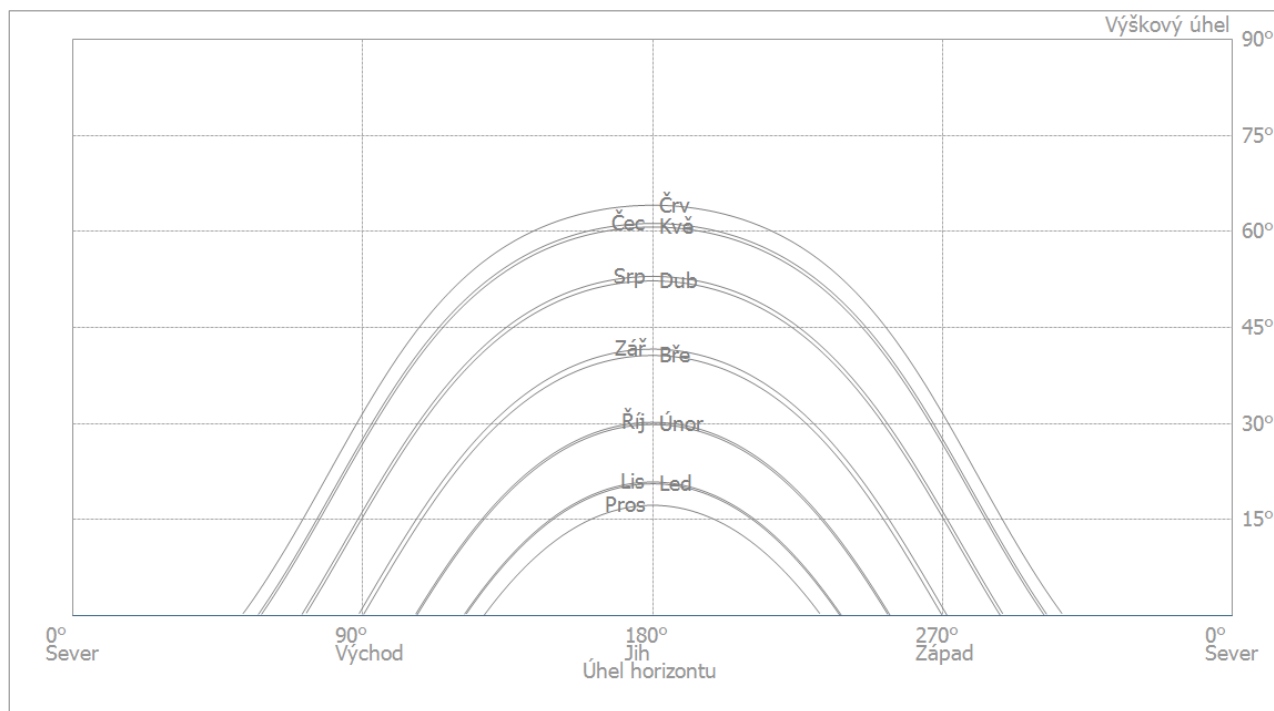
Zbývající výkon po 25 letech

85 %



Obrázek: Degradace modulu, 1. Umístění modulu - Budovy 01-Fasáda Jihozápad

## Linie horizontu, 3D Návrh



Obrázek: Horizont (3D Návrh)

## Konfigurace měniče

### Konfigurace 1

Umístění modulu	Budovy 01-Fasáda Jihozápad
Střídač 1	
Model	MR4316AC NG (v1)
Výrobce	BEL
Počet	1
Faktor dimenzování střídače	111 %
Konfigurace	MPP 1: 1 x 4

## AC síť

### AC síť

Počet fází	1
Síťové napětí mezi fází a nulovým vodičem	230 V
Účinník (cos phi)	+/- 1
Omezení výkonu napájení sítě v procentech výkonu DC	0 %

## Výsledky simulace

### Výsledky Celkové zařízení

#### FV systém

Instalovaný výkon	2,22 kWp
Spec. Roční výnos	735,96 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	81,88 %
Snížení výnosu zastíněním	4,1 %
Energetický výnos FVS (AC síť)	1 656 kWh/Rok
Ztráta energie omezením výkonu v místě připojení	253 kWh/Rok
Snížení emisí CO <sub>2</sub>	649 kg/rok

#### Spotřebiče

Spotřebiče	2 000 kWh/Rok
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	22 kWh/Rok
Spotřeba přebytku	1 026 kWh/Rok
Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby	3 049 kWh/Rok
Energie ze sítě	1 645,3 kWh
Podíl pokrytí solární energií	46,0 %

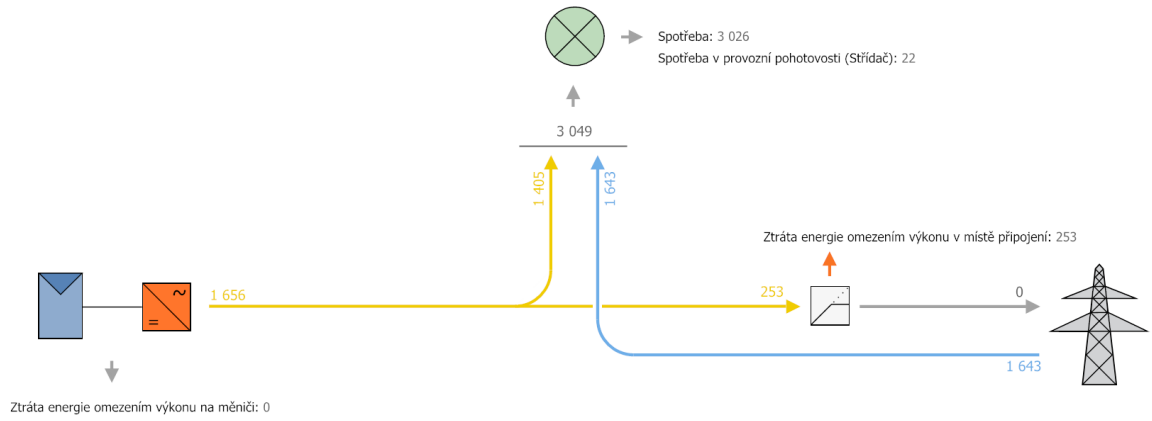
#### Stupeň soběstačnosti

Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby	2 022 kWh/Rok
pokryto ze sítě	1 643 kWh/Rok
Stupeň soběstačnosti	46,1 %

# Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům v

## Graf toků energie

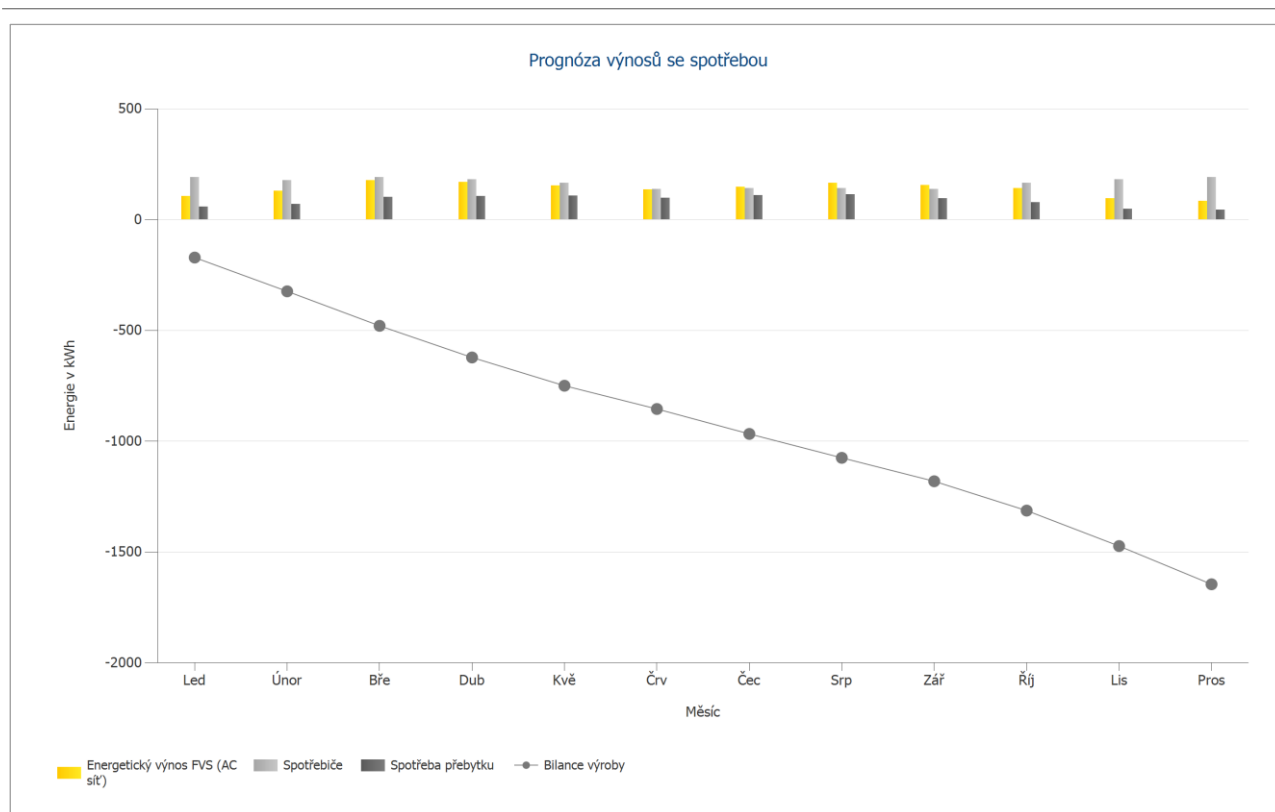
Projekt: Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům v lokalitě Ústrašice.



Všechny hodnoty v kWh  
Vzhledem k zaokrouhlování mohou vzniknout malé odchylky v součtech  
created with PV\*SOL

Obrázek: Tok energie

## Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům v



Obrázek: Prognóza výnosů se spotřebou

## Výsledky na plochu modulu

### Budovy 01-Fasáda Jihozápad

Instalovaný výkon	2,22 kWp
Plocha FV modulů	10,34 m <sup>2</sup>
Globální záření na modul	886,62 kWh/m <sup>2</sup>
Globální záření na modul bez odrazu	898,97 kWh/m <sup>2</sup>
Stupeň využití zařízení (PR)	83,00 %
Energetický výnos FVS (AC síť)	1656,26 kWh/Rok
Spec. Roční výnos	746,06 kWh/kWp



## Energetická bilance FV zařízení

### Energetická bilance FV zařízení

<b>Globální záření - horizontální</b>	<b>1 134,96 kWh/m<sup>2</sup></b>	
Odchylka od standardního spektra	-11,35 kWh/m <sup>2</sup>	-1,00 %
Odraz od země (Albedo)	112,36 kWh/m <sup>2</sup>	10,00 %
Vyrovnění a sklon úrovně modulu	-308,37 kWh/m <sup>2</sup>	-24,95 %
Odstínění podle modulu	-28,63 kWh/m <sup>2</sup>	-3,09 %
Odraz na povrchu modulu	-12,34 kWh/m <sup>2</sup>	-1,37 %
<b>Globální záření na modul</b>	<b>886,62 kWh/m<sup>2</sup></b>	
	886,62 kWh/m <sup>2</sup>	
	x 10,338 m <sup>2</sup>	
	= 9 165,52 kWh	
<b>FV globální záření</b>	<b>9 165,52 kWh</b>	
Znečištění	0,00 kWh	0,00 %
STC konverze (jmenovitá účinnost modulu 21,47 %)	-7 197,58 kWh	-78,53 %
<b>FV jmenovitá energie</b>	<b>1 967,94 kWh</b>	
Specifické dílčí stínění modulu	-10,62 kWh	-0,54 %
Chování za nízké intenzity světla	-97,93 kWh	-5,00 %
Odchylka od jmenovité teploty modulu	0,72 kWh	0,04 %
Diody	-0,37 kWh	-0,02 %
Nesrovnalost/Nesoulad (údaje výrobce)	-37,19 kWh	-2,00 %
Nesrovnalost/Nesoulad (zapojení/stínění)	-0,49 kWh	-0,03 %
Stringový kabel	-1,38 kWh	-0,08 %
<b>FV energie (DC) bez sestupné regulace měničem</b>	<b>1 820,67 kWh</b>	
Pokles pod výchozí výkon DC	0,00 kWh	0,00 %
Sestupná regulace z důvodu napěťového rozsahu MPP	0,00 kWh	0,00 %
Sestupná regulace z důvodu max. DC proudu	0,00 kWh	0,00 %
Sestupná regulace z důvodu max. DC výkonu	0,00 kWh	0,00 %
Sestupná regulace z důvodu max. AC výkonu/cos phi	-11,58 kWh	-0,64 %
Přizpůsobení MPP	-38,80 kWh	-2,14 %
<b>FV energie (DC)</b>	<b>1 770,29 kWh</b>	
<b>Energie na vstupu měniče</b>	<b>1 770,29 kWh</b>	
Odchylka vstupního napětí od jmenovitého	-3,59 kWh	-0,20 %
Převod DC/AC	-106,06 kWh	-6,00 %
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	-22,43 kWh	-1,35 %
AC kabely	-4,37 kWh	-0,27 %
<b>FV energie (AC) minus pohotovostní spotřeba</b>	<b>1 633,84 kWh</b>	
<b>Energetický výnos FVS (AC síť)</b>	<b>1 656,26 kWh</b>	

## Analýza ziskovosti

### Přehled

#### Data zařízení

Energetický výkon FVS (AC síť)	1 656 kWh/Rok
Instalovaný výkon	2,2 kWp
Uvedení zařízení do provozu	01.06.2023
Sledované období	25 Roky
Úroky kapitálu	1 %

#### Hospodářské ukazatele

Vnitřní míra návratnosti (IRR)	40,84 %
Kumulovaný finanční tok	271 368,63 Kč
Doba amortizace	2,6 Roky
Vlastní výrobní náklady elektrické energie	1,1711 Kč/kWh

#### Přehled plateb

specifické investiční náklady	4 504,50 Kč/kWp
<b>Investiční náklady</b>	<b>10 000,00 Kč</b>
Elektronika	10 000,00 Kč
<b>Jednorázové platby</b>	<b>44 000,00 Kč</b>
FV Systém	36 000,00 Kč
Montáž	8 000,00 Kč
Podpory/Dotace	27 000,00 Kč
Roční náklady	0,00 Kč/Rok
Ostatní výnosy nebo úspory	0,00 Kč/Rok

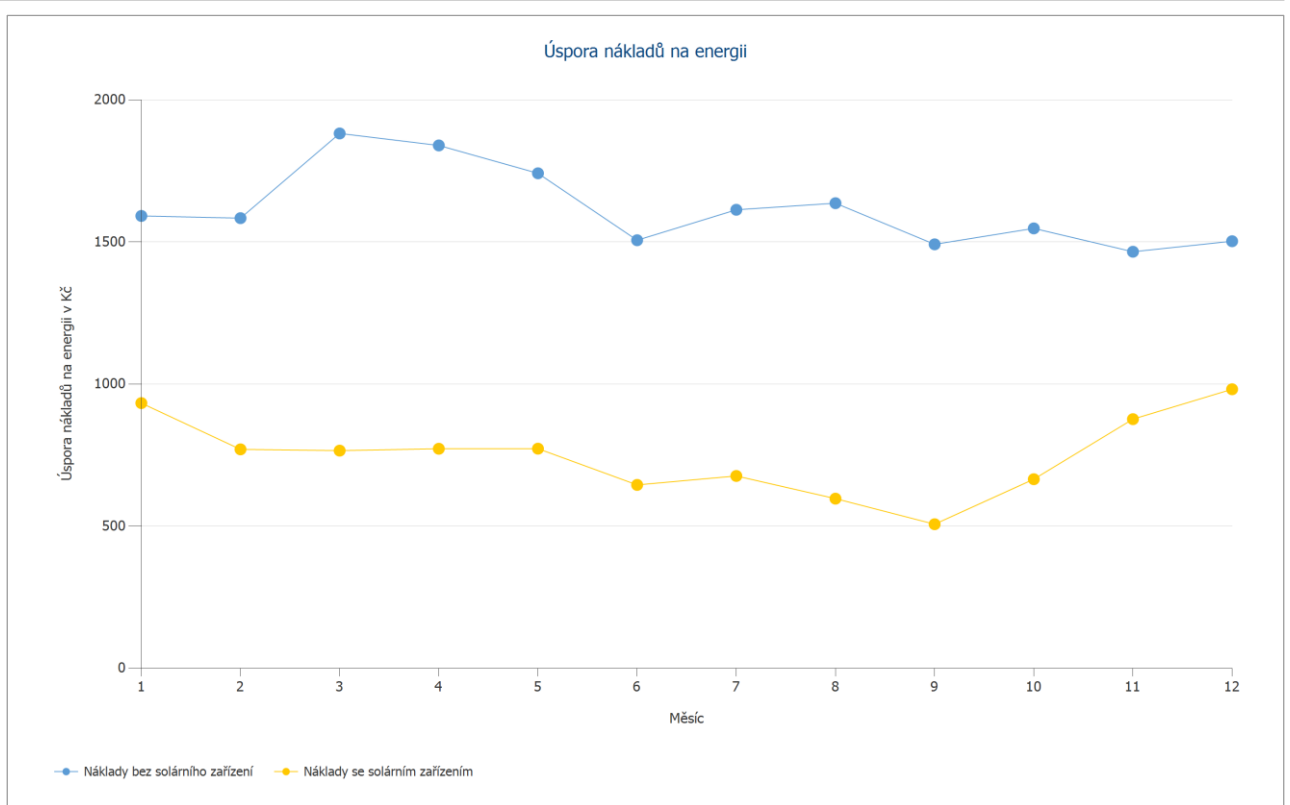
#### Odměna za úspory

Celkové odměny v prvním roce	0,00 Kč/Rok
Úspory v prvním roce	10 440,16 Kč/Rok

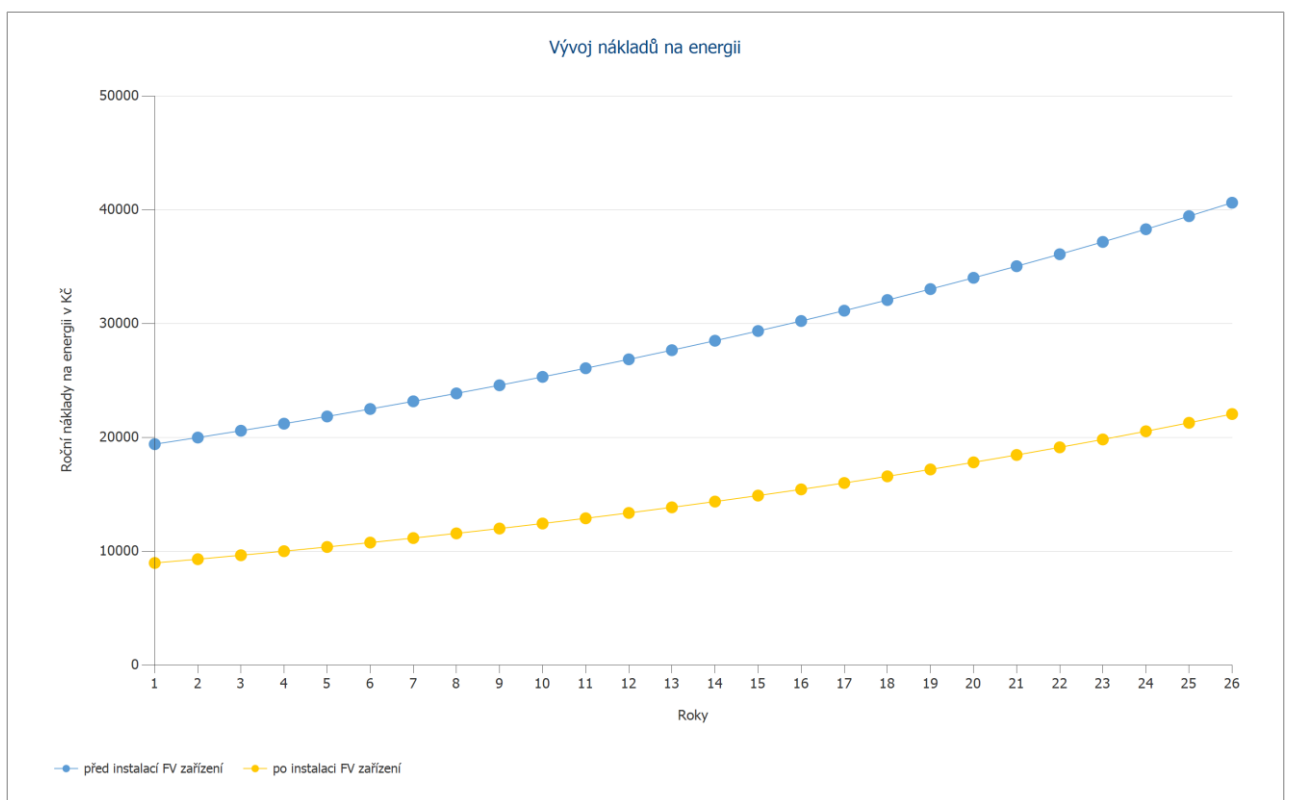
#### PRE PROUD FIX, D45d (PRE)

Cena elektřiny	6,41 Kč/kWh
Základní cena	504 Kč/Měsíc
Odměna za přebytek	0 Kč/kWh
Koeficient změny cen elektřiny	3 %/Rok

## Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům v



Obrázek: Úspora nákladů na energii



Obrázek: Vývoj nákladů na energii

## Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům v

### Cash flow

#### Cash flow

	Rok 1	Rok 2	Rok 3	Rok 4	Rok 5
Investice	-10 000,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Jednorázové platby	-44 000,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory/Dotace	27 000,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úspora energie	10 336,79 Kč	10 478,03 Kč	10 620,81 Kč	10 765,14 Kč	10 911,02 Kč
<b>Roční finanční tok</b>	<b>-16 663,21 Kč</b>	<b>10 478,03 Kč</b>	<b>10 620,81 Kč</b>	<b>10 765,14 Kč</b>	<b>10 911,02 Kč</b>
Kumulovaný finanční tok	-16 663,21 Kč	-6 185,18 Kč	4 435,63 Kč	15 200,77 Kč	26 111,79 Kč

#### Cash flow

	Rok 6	Rok 7	Rok 8	Rok 9	Rok 10
Investice	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Jednorázové platby	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory/Dotace	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úspora energie	11 058,46 Kč	11 207,45 Kč	11 358,01 Kč	11 510,14 Kč	11 663,84 Kč
<b>Roční finanční tok</b>	<b>11 058,46 Kč</b>	<b>11 207,45 Kč</b>	<b>11 358,01 Kč</b>	<b>11 510,14 Kč</b>	<b>11 663,84 Kč</b>
Kumulovaný finanční tok	37 170,25 Kč	48 377,70 Kč	59 735,71 Kč	71 245,85 Kč	82 909,69 Kč

#### Cash flow

	Rok 11	Rok 12	Rok 13	Rok 14	Rok 15
Investice	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Jednorázové platby	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory/Dotace	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úspora energie	11 819,11 Kč	11 975,97 Kč	12 134,40 Kč	12 294,40 Kč	12 455,99 Kč
<b>Roční finanční tok</b>	<b>11 819,11 Kč</b>	<b>11 975,97 Kč</b>	<b>12 134,40 Kč</b>	<b>12 294,40 Kč</b>	<b>12 455,99 Kč</b>
Kumulovaný finanční tok	94 728,81 Kč	106 704,78 Kč	118 839,17 Kč	131 133,58 Kč	143 589,56 Kč

#### Cash flow

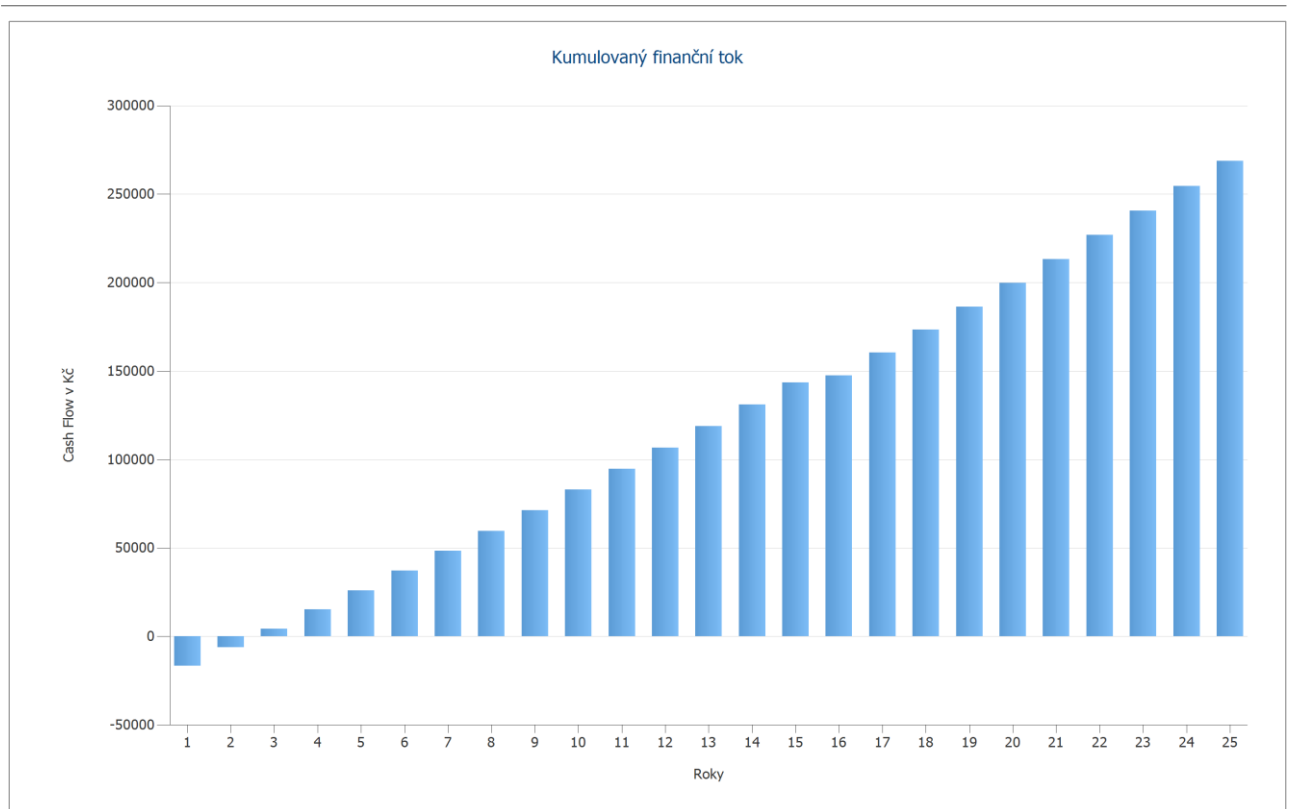
	Rok 16	Rok 17	Rok 18	Rok 19	Rok 20
Investice	-8 613,49 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Jednorázové platby	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory/Dotace	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úspora energie	12 619,15 Kč	12 783,89 Kč	12 950,21 Kč	13 118,10 Kč	13 287,56 Kč
<b>Roční finanční tok</b>	<b>4 005,65 Kč</b>	<b>12 783,89 Kč</b>	<b>12 950,21 Kč</b>	<b>13 118,10 Kč</b>	<b>13 287,56 Kč</b>
Kumulovaný finanční tok	147 595,22 Kč	160 379,10 Kč	173 329,31 Kč	186 447,41 Kč	199 734,97 Kč

#### Cash flow

	Rok 21	Rok 22	Rok 23	Rok 24	Rok 25
Investice	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Jednorázové platby	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory/Dotace	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úspora energie	13 458,59 Kč	13 631,19 Kč	13 805,33 Kč	13 981,04 Kč	14 158,28 Kč
<b>Roční finanční tok</b>	<b>13 458,59 Kč</b>	<b>13 631,19 Kč</b>	<b>13 805,33 Kč</b>	<b>13 981,04 Kč</b>	<b>14 158,28 Kč</b>
Kumulovaný finanční tok	213 193,56 Kč	226 824,74 Kč	240 630,08 Kč	254 611,12 Kč	268 769,40 Kč

Procenta degradace a zvyšování cen se používají měsíčně za celé období sledování.  
To se děje již v prvním roce.

## Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům v



Obrázek: Kumulovaný finanční tok

## Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům v

### Účet za energie

#### Účet za energie

Označení	Led	Únor	Bře	Dub	Kvě	Črv
Spotřeba	248,24	247,02	293,53	286,95	271,65	234,91
Výroba energie	102,81	127,07	174,40	166,86	151,56	134,73
Výroba energie (včetně Degradace modulu)	102,76	126,94	174,14	166,53	151,18	134,33
Saldo	145,49	120,08	119,40	120,42	120,47	100,58
Úspory	102,76	126,94	174,14	166,53	151,18	134,33

Hodnoty v kWh

Náklady bez solárního zařízení	1591,24	1583,41	1881,55	1839,33	1741,26	1505,77
Náklady se solárními zařízeními	932,56	769,74	765,34	771,88	772,22	644,72
Úspora nákladů	658,68	813,67	1116,22	1067,45	969,05	861,05

Hodnoty v Kč

Označení	Čec	Srp	Zář	Říj	Lis	Pros
Spotřeba	251,62	255,23	232,65	241,41	228,58	234,36
Výroba energie	146,64	162,85	154,36	138,39	92,42	81,76
Výroba energie (včetně Degradace modulu)	146,13	162,19	153,66	137,70	91,91	81,27
Saldo	105,49	93,04	78,99	103,70	136,68	153,09
Úspory	146,13	162,19	153,66	137,70	91,91	81,27

Hodnoty v kWh

Náklady bez solárního zařízení	1612,87	1636,03	1491,29	1547,41	1465,23	1502,24
Náklady se solárními zařízeními	676,18	596,37	506,31	664,75	876,11	981,31
Úspora nákladů	936,69	1039,66	984,98	882,66	589,12	520,93

Hodnoty v Kč

Označení	Souhrn
Spotřeba	3026,15
Výroba energie	1633,84
Výroba energie (včetně Degradace modulu)	1628,73
Saldo	1397,42
Úspory	1628,73

Hodnoty v kWh

Náklady bez solárního zařízení	19397,64
Náklady se solárními zařízeními	8957,49
Úspora nákladů	10440,16

Hodnoty v Kč

Procenta degradace a zvyšování cen se používají měsíčně za celé období sledování. To se děje již v prvním roce.

## Katalogové listy

### Katalogový list FV modulu

FV modul: DHM-T72X10/FS(BW)-555W (v1)

Výrobce	DAH Solar
Možno dodat	Ano
<b>Elektrické údaje</b>	
Typ článku	monokrystalický Si
Půlčlánkový modul	Ano
Počet článků	216
Počet bypass diod	3
Ztráty napětí na bypass diodě	1 V
Integrovaný výkonový optimizér	Ne
Pouze vhodný transformátorový měnič	Ne
<b>U/I charakteristiky při STC</b>	
MPP napětí	63,2 V
Proud v MPP	8,78 A
Napětí naprázdno	74,9 V
Zkratový proud	9,37 A
Zvýšení napětí naprázdno před stabilizací	0 %
Jmenovitý výkon	555 W
Faktor plnění (FF)	79,07 %
Účinnost	21,47 %
<b>Díličí charakteristiky zátěže U/I (vypočítáno)</b>	
Zdroj hodnot	Standardní (Dvoudiodový model)
Sériový odpor $R_s$	1,5e-03 $\Omega$
Paralelní odpor $R_p$	6,802 $\Omega$
Parametry saturačního proudu $Cs_1$	206,2 A/K <sup>3</sup>
Parametry saturačního proudu $Cs_2$	1,222e-02 A/K <sup>(2,5)</sup>
Parametry fotovoltaického proudu C1	7,673e-03 m <sup>2</sup> /V
Parametry fotovoltaického proudu C2	5,7e-06 m <sup>2</sup> /(V*K)
Fotovoltaický proud	9,372 A
<b>Další parametry</b>	
Teplotní koeficient $V_{oc}$	-153,1 mV/K
Teplotní koeficient $I_{sc}$	5,7 mA/K
Teplotní koeficient $P_{mpp}$	-0,35 %/K
Faktor korekce úhlu (IAM)	99 %
Maximální systémové napětí	1500 V
<b>Mechanické údaje</b>	
Šířka	1134 mm
Výška	2279 mm
Hloubka	32 mm
Šířka rámu	35 mm
Hmotnost	29 kg

## Katalogový list měniče

Střídač: MR4316AC NG (v1)

Výrobce	BEL
Možno dodat	Ano

### Elektrické údaje - DC

Jmenovitý výkon DC	2,22 kW
Max. výkon DC	2,8 kW
Jmenovité napětí DC	260 V
Max. vstupní napětí	430 V
Max. vstupní proud	11 A
Max. zkratový proud	16 A
Počet DC vstupů	1

### Elektrické údaje - AC

Jmenovitý výkon AC	2 kW
Max. výkon AC	4 kVA
Jmenovité AC napětí	230 V
Počet fází	1
S transformátorem	Ne

### Elektrické údaje - ostatní

Změna stupně účinnosti při odchylce vstupního napětí od jmenovitého napětí	1 %/100V
Min. výkon dodávky do sítě	0 W
Spotřeba v provozní pohotovosti	5 W
Noční spotřeba	5 W

### MPP Tracker

Rozsah výkonu < 20 % jmenovitého napětí	93,5 %
Rozsah výkonu > 20 % jmenovitého napětí	99 %
Počet MPP Tracker	1

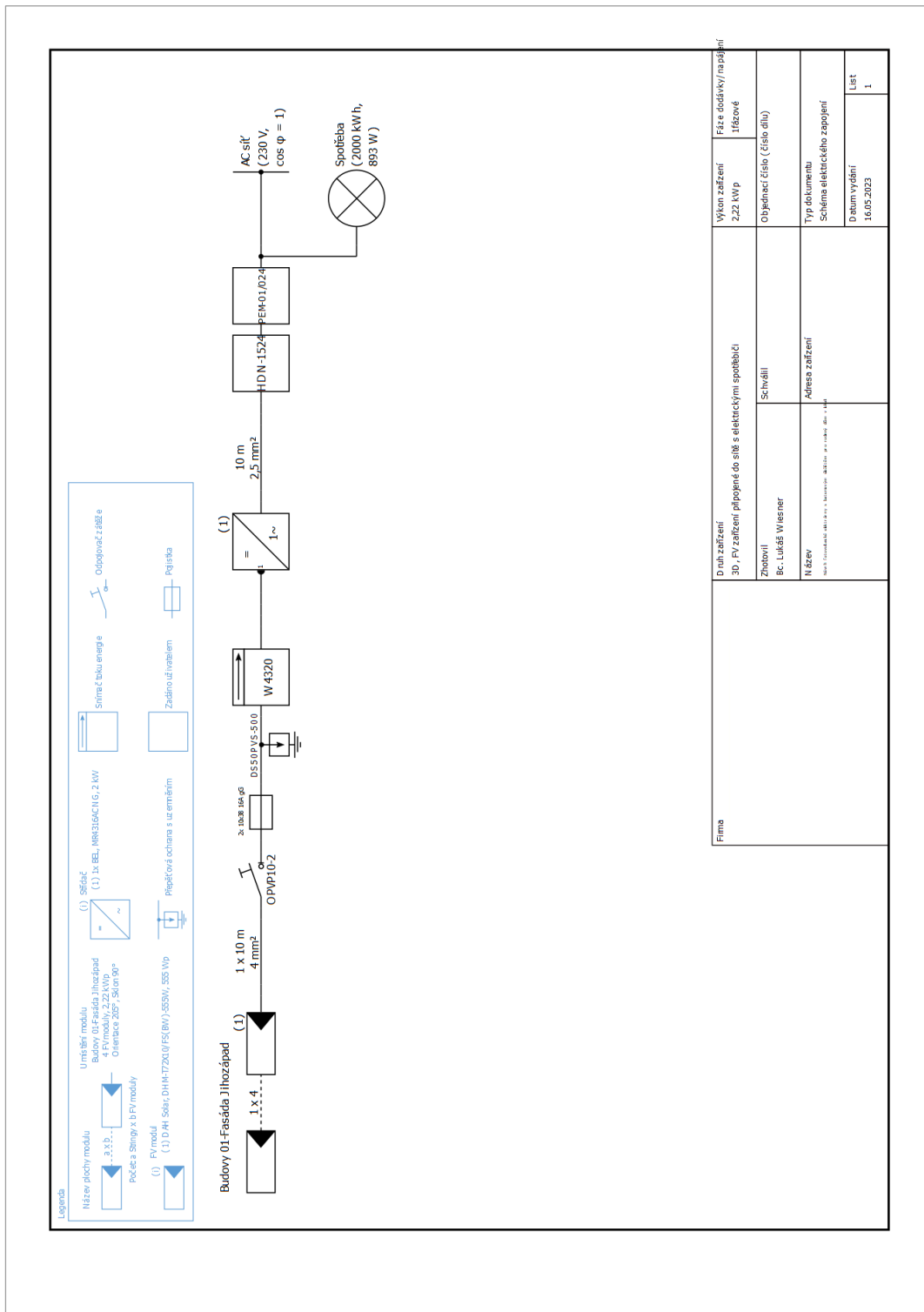
### MPP Tracker 1

Max. vstupní proud	11 A
Max. zkratový proud	15 A
Max. Příkon	4 kW
Min. napětí MPP	60 V
Max. napětí MPP	320 V



# Výkresy a kusovníky

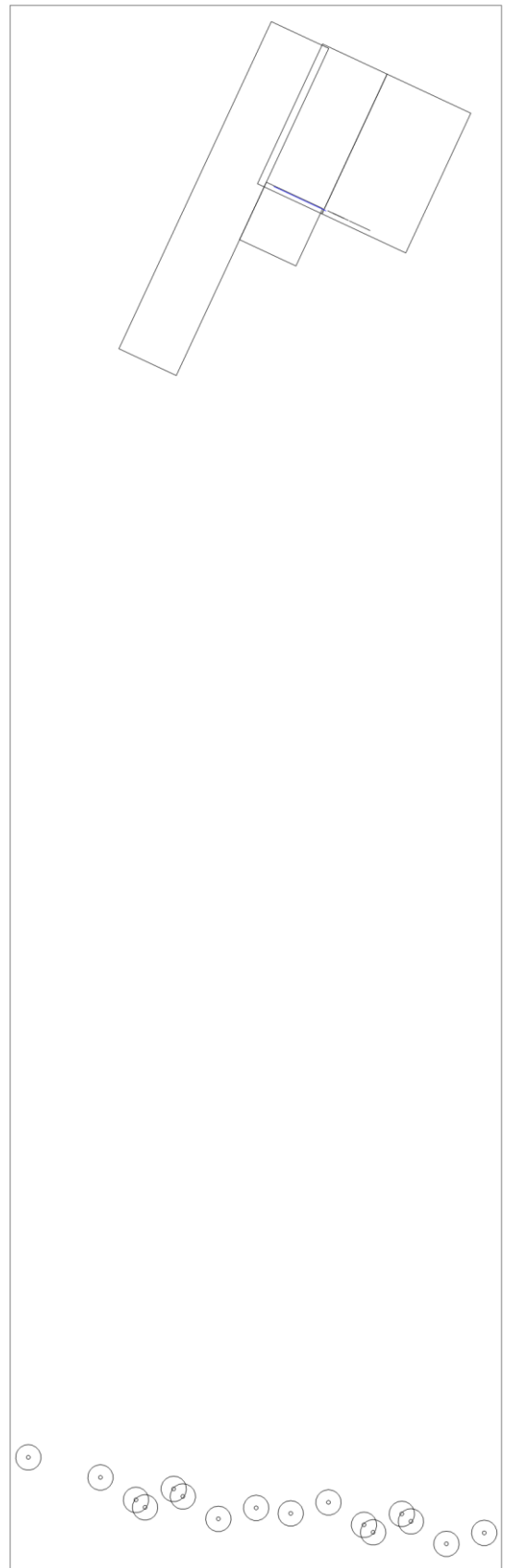
## Schéma elektrického zapojení



Firma		Výkon zařízení		Fáze dodávky/nápojení	
Druh zařízení		2,22 kWp		1-fázové	
3D / PV zařízení připojené do sítě s elektrickým spotřebiči		Objednací číslo (číslo dílu)			
Zhotovitel		Schválil			
Bc. Lukáš Wiesner		Adresa zařízení			
Název		Typ dokumentu			
Schéma elektrického zapojení		Schéma elektrického zapojení			
Datum vydání		16.05.2023		List	
				1	

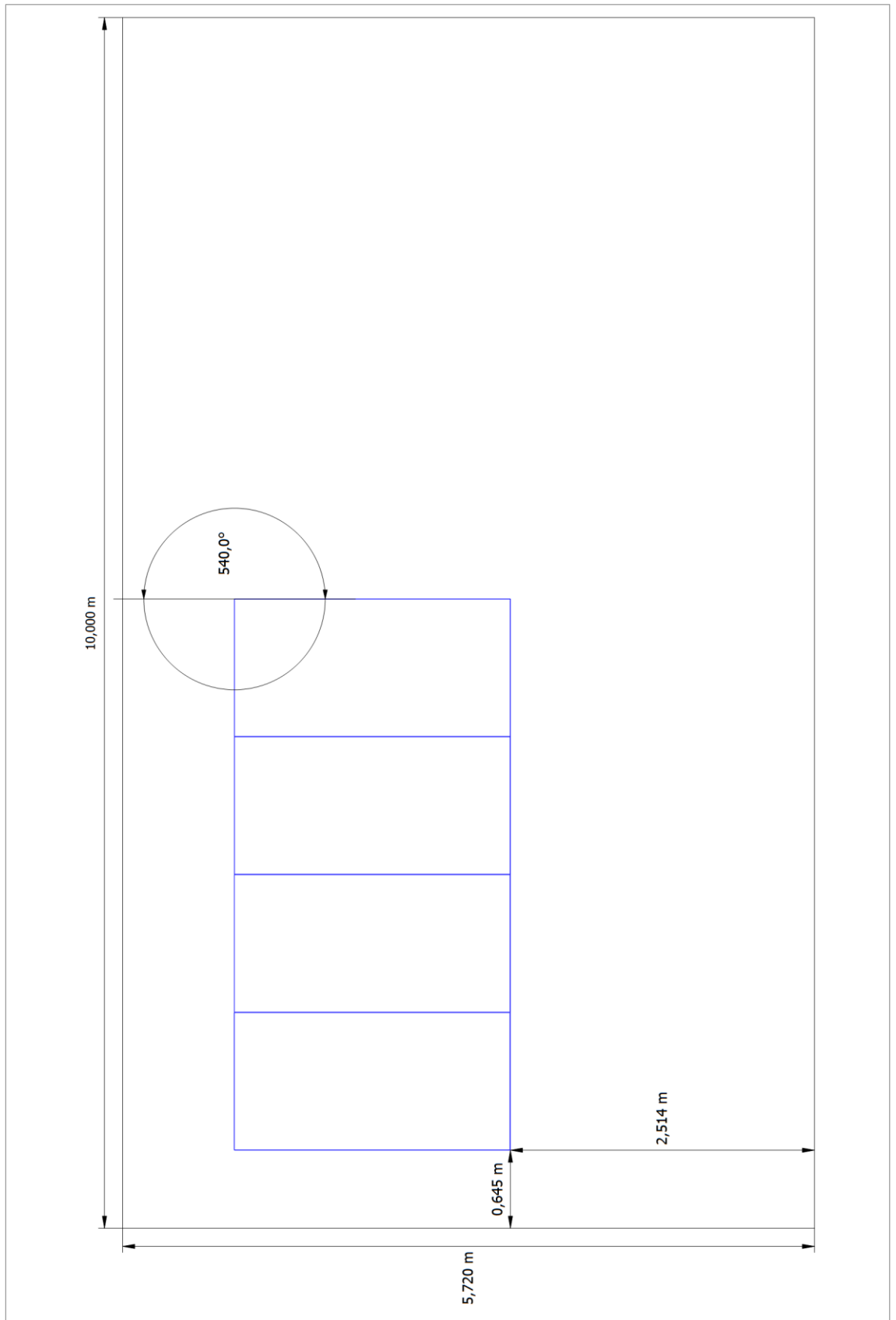
Obrázek: Schéma elektrického zapojení

Přehledový plán



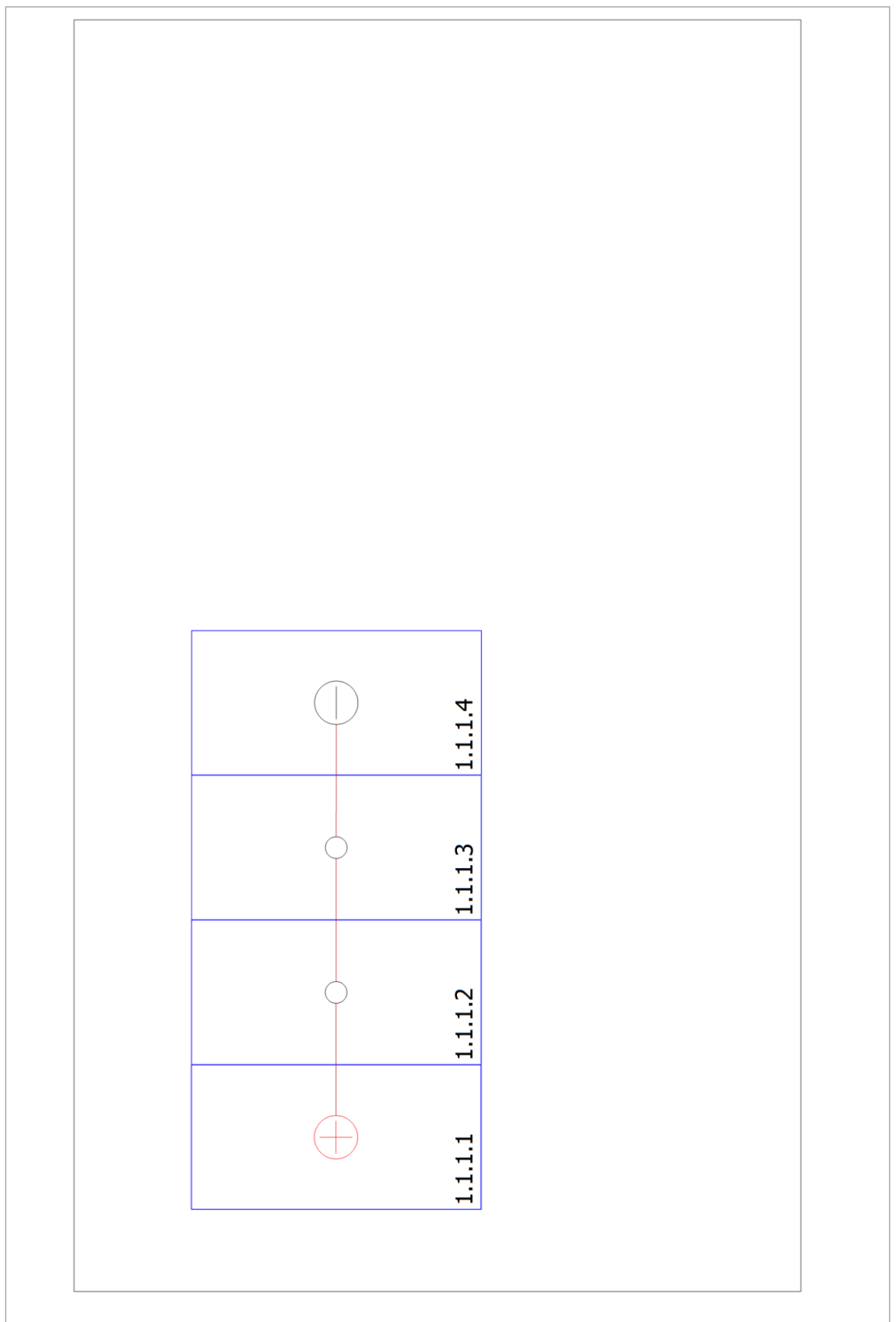
Obrázek: Přehledový plán

## Rozměrový výkres



Obrázek: Budovy 01-Fasáda Jihozápad

## Plán stringů



Obrázek: Budovy 01-Fasáda Jihozápad

## Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům v

### Kusovník

#### Kusovník

#	Typ	Číslo položky	Výrobce	Jméno	Množství	Jednotka
1	FV modul		DAH Solar	DHM-T72X10/FS(BW)-555W	4	Kus
2	Střídač		BEL	MR4316AC NG	1	Kus
3	Kabel			AC kabely 1fázové 2,5 10 mm <sup>2</sup> Měď	10	m
4	Kabel			Stringový kabel 4 mm <sup>2</sup> Měď	10	m
5	Komponenty			Odpojovač zátěže OPVP10-2	1	Kus
6	Komponenty			Pojistka 2x 10x38 16A gG	1	Kus
7	Komponenty			Přepětová ochrana s uzemněním DS50PVS-500	1	Kus
8	Komponenty			Snímač toku energie W4320	1	Kus

## Snímky obrazovky, 3D Návrh Prostředí

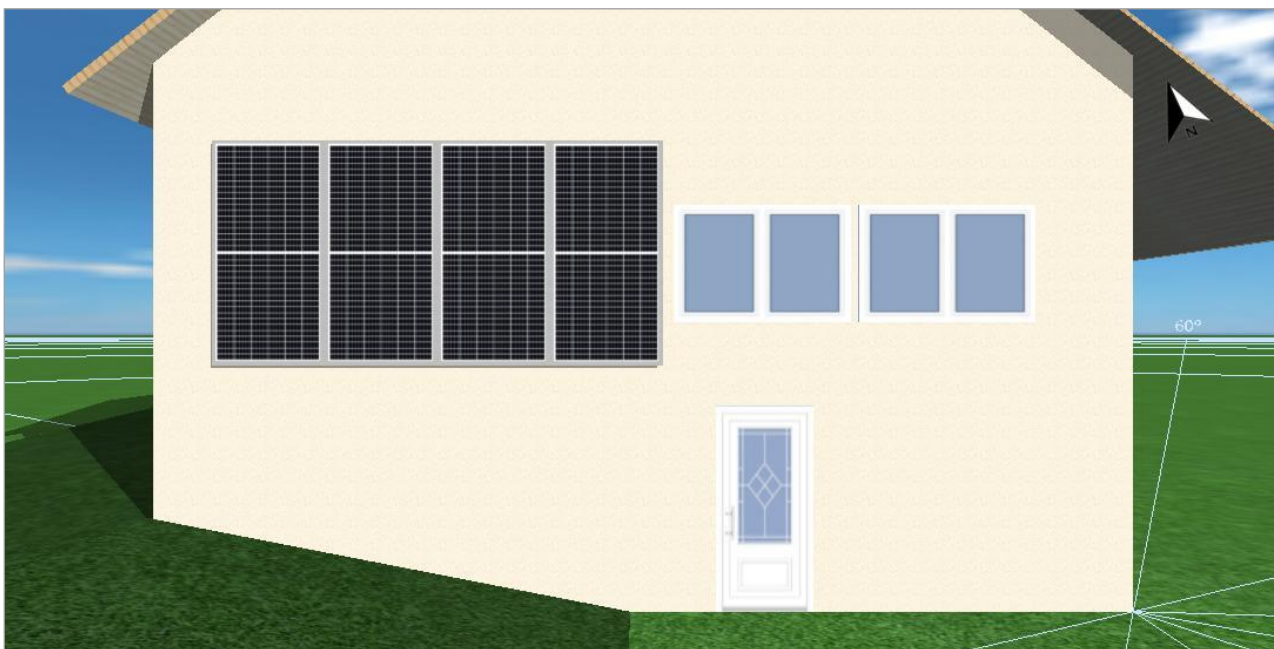


Obrázek: Snímek obrazovky04



Obrázek: Snímek obrazovky05

## Plochy modulů



Obrázek: Snímek obrazovky02

## Stínění



Obrázek: Snímek obrazovky03