

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ  
PRÁCE**

**2023**

**JANA  
BAUMGARTLOVÁ**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Baumgartlová** Jméno: **Jana** Osobní číslo: **482587**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav energetiky**  
Studijní program: **Energetika a procesní inženýrství**  
Specializace: **Energetika**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Návrh fotovoltaické elektrárny pro doplnění provozu stávajících mikrokogeneračních jednotek v penzionu**

Název diplomové práce anglicky:

**Photovoltaic power plant design and its parallel operation to existing microcogeneration units installed in pension**

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte diplomovou práci na téma 'Návrh fotovoltaické elektrárny pro doplnění provozu stávajících mikrokogeneračních jednotek v penzionu'

Součástí práce bude:

1. úvodní rešerše o funkci fotovoltaických panelů a dalších částí fotovoltaické elektrárny včetně možností ukládání elektrické energie pro podmínky ČR,
2. popis stavu fotovoltaických elektráren (FVE) a případně FVE spolupracujících s kogeneračními jednotkami na území ČR,
3. základní údaje popisující energetické spotřeby penzionu Chmelnice - odečty, měření, atd.
4. simulace dopadající energie slunečního záření v lokalitě penzionu včetně validace použitých simulačních software,
5. technický návrh FVE ve více variantách dle energetických potřeb penzionu Chmelnice,
6. ekonomické porovnání jednotlivých variant FVE,
7. doporučení optimální varianty FVE z technicko-ekonomického hlediska .

Seznam doporučené literatury:

Ralf Haselhuhn: Fotovoltaika. Budovy jako zdroj proudu, HEL 2011

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Martin Neužil, Ph.D. ústav energetiky FS**

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

Datum zadání diplomové práce: **05.04.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **02.06.2023**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2024**

Ing. Martin Neužil, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Michal Kolovratník, CSc.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_ Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_ Podpis studentky

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci na téma „Návrh fotovoltaické elektrárny pro doplnění provozu stávajících mikrokogeneračních jednotek v penzionu“ vypracovala samostatně pod vedením Ing. Martina Neužila, Ph.D. Práci jsem vypracovala s využitím uvedené literatury v souladu s metodickým pokynem o dodržování etických principů při tvorbě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne .....

.....

Baumgartlová Jana

## **Anotační list**

<b>Jméno autora:</b>	Jana Baumgartlová
<b>Název DP:</b>	Návrh fotovoltaické elektrárny pro doplnění provozu stávajících mikrokogeneračních jednotek v penzionu
<b>Anglický název:</b>	Photovoltaic power plant design and its parallel operation to existing microcogeneration units installed in pension
<b>Akademický rok:</b>	2022/2023
<b>Ústav:</b>	Ústav energetiky
<b>Vedoucí DP:</b>	Ing. Martin Neužil, Ph.D.
<b>Bibliografické údaje:</b>	Počet stran: 85 Počet obrázků: 16 Počet tabulek: 18 Počet grafů: 30 Počet příloh: 5
<b>Klíčová slova:</b>	fotovoltaika, penzion, kogenerační jednotka, přebytky elektrické energie
<b>Keywords:</b>	photovoltaics, guest house, cogeneration unit, electricity surplus
<b>Anotace:</b>	Tato diplomová práce se zabývá návrhem fotovoltaické elektrárny umístěné na střeše penzionu. Práce je rozdělena na teoretickou část, kde jsou popsány základy fotovoltaiky a možnost ukládání přebytků elektřiny. Ve výpočtové části je proveden návrh fotovoltaické elektrárny ve 4 variantách, z nichž je vybrána jedna optimální. Tato varianta je ekonomicky zhodnocena včetně návrhu nakládání s přebytky elektřiny. V závěru práce jsou nabídnuty možné strategie budoucnosti celého projektu.
<b>Abstract:</b>	This thesis deals with the design of a photovoltaic power plant located on the roof of a guesthouse. The thesis is divided into a theoretical part, where the basics of photovoltaics and the possibilities of storing surplus electricity are described. In the computational part, the design of the photovoltaic power plant is made in 4 variants, from which one optimal one is selected. This variant is economically evaluated, including a proposal for the management of surplus electricity. At the end of the thesis, possible future strategies for the whole project are offered.

## **Poděkování**

Touto cestou bych chtěla poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Neužilovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a odborné vedení, především pak za trpělivost a čas, který mi během vypracování diplomové práce věnoval.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>11</b>
1.1	<i>Cíl</i>	11
<b>2</b>	<b>Fotovoltaika</b>	<b>13</b>
2.1	<i>Solární článek</i>	14
2.1.1	Monokrystalický článek	14
2.1.2	Polykrystalický článek	15
2.1.3	Tenkvrstvý článek	15
2.2	<i>Solární modul</i>	15
2.3	<i>Komponenty fotovoltaické elektrárny</i>	16
2.3.1	Připojovací skříň generátoru	16
2.3.2	Ochranná opatření	16
2.3.3	Střídač	16
2.4	<i>Výkon fotovoltaických panelů</i>	17
<b>3</b>	<b>Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie KVET</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>Solární energie v České republice</b>	<b>20</b>
4.1	<i>Fotovoltaické elektrárny v ČR</i>	20
4.2	<i>Fotovoltaické elektrárny a kogenerační jednotky</i>	21
<b>5</b>	<b>Možnost ukládání přebytků elektrické energie</b>	<b>22</b>
5.1	<i>Bateriová úložiště</i>	22
5.2	<i>Ukládání do zásobníku teplé vody</i>	23
5.3	<i>Virtuální baterie</i>	24
5.4	<i>Prodej přebytků</i>	25
<b>6</b>	<b>Penzion Chmelnice</b>	<b>26</b>
6.1	<i>Spotřeba elektrické energie a tepla</i>	30
6.2	<i>Provoz kogeneračních jednotek</i>	32
6.3	<i>Provoz plynového kotle</i>	35
<b>7</b>	<b>Průběh spotřeby elektřiny a TUV v penzionu</b>	<b>36</b>
7.1	<i>Všední den, 28. 4. 2022</i>	36

7.2	<i>Víkend, 12. 3. 2022</i> .....	38
7.3	<i>Víkend, 21. 10. 2022</i> .....	39
7.4	<i>Shrnutí naměřených dat</i> .....	40
7.5	<i>Simulace denního průběhu spotřeby elektřiny</i> .....	41
7.5.1	<i>Průměrný červencový den</i> .....	41
<b>8</b>	<b>Validace dat databází PVGIS a HelioClim</b> .....	<b>43</b>
8.1	<i>Data o intenzitě celkové solární radiace</i> .....	43
<b>9</b>	<b>Volba FV panelů</b> .....	<b>45</b>
9.1	<i>Solární panely o výkonu 500 Wp</i> .....	45
<b>10</b>	<b>Návrhové varianty řešení</b> .....	<b>46</b>
10.1	<i>Varianta 1 a 2</i> .....	47
10.2	<i>Varianta 3 a 4</i> .....	48
10.3	<i>Shrnutí jednotlivých variant</i> .....	48
<b>11</b>	<b>Výpočet a návrh fotovoltaické elektrárny</b> .....	<b>49</b>
11.1	<i>Metodika výpočtu</i> .....	50
11.2	<i>Porovnání variant řešení</i> .....	53
11.3	<i>Volba vhodné varianty</i> .....	55
11.4	<i>Návrh rozložení FV panelů na střeše penzionu</i> .....	56
<b>12</b>	<b>Porovnání FVE se spotřebou elektřiny v penzionu</b> .....	<b>58</b>
<b>13</b>	<b>Ekonomické zhodnocení</b> .....	<b>60</b>
13.1	<i>Současný stav provozních nákladů</i> .....	60
13.2	<i>Úspora při instalaci FVE</i> .....	62
13.2.1	<i>Varianta A – prodej přebytků PRE Proud Solar</i> .....	63
13.2.2	<i>Varianta B – prodej veškeré vyrobené elektrické energie</i> .....	65
13.3	<i>Investiční náklady</i> .....	67
13.4	<i>Doba návratnosti (prostá, diskontovaná)</i> .....	68
13.4.1	<i>Varianta A</i> .....	69
13.4.2	<i>Varianta B1</i> .....	71
13.4.3	<i>Varianta B2</i> .....	73
13.5	<i>Shrnutí</i> .....	75

<b>14</b>	<b>Technicko-ekonomické zhodnocení .....</b>	<b>76</b>
<b>15</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>77</b>
<b>16</b>	<b>Seznam použitých zdrojů.....</b>	<b>79</b>
<b>17</b>	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>83</b>
<b>18</b>	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>83</b>
<b>19</b>	<b>Seznam grafů .....</b>	<b>84</b>
<b>20</b>	<b>Přílohy.....</b>	<b>85</b>



## Seznam symbolů a zkratk

Symbol/Zkratka	Veličina/Význam	Jednotka
<i>FVE</i>	Fotovoltaická elektrárna	
<i>FV</i>	Fotovoltaický	
<i>KJ</i>	Kogenerační jednotka	
<i>ENS</i>	Einrichtung zum Netzschutz (zařízení pro ochranu sítě)	
ČR	Česká republika	
<i>SOC</i>	State of charge (stav nabití)	[%]
<i>DOD</i>	Depth of discharge (hloubka vybití)	[%]
<i>LFP</i>	Lithium-železo-fosfát (typ baterie)	
<i>TUV</i>	Teplá užitková voda	
<i>PRE</i>	Pražská energetika	
<i>PVGIS</i>	Photovoltaic Geographical Information System (databáze)	
$P_{max}$	Maximální výkon FVE	[Wp]
$S_{max}$	Maximální využitelná plocha střechy	[m <sup>2</sup> ]
$S_{panel}$	Plocha jednoho panelu	[m <sup>2</sup> ]
$P_{panel}$	Výkon jednoho panelu	[Wp]
$n_{panel}$	Počet panelů	
$P_{inst.}$	Instalovaný výkon FVE	[Wp]
$G$	Intenzita solárního záření	[Wh/m <sup>2</sup> ]
$\eta_{FV}$	Účinnost fotovoltaického modulu	[%]
$E_{FVE}$	Úhrn elektrické energie z FVE	[Wh]
$Z$	Západ	
$J$	Jih	
$V$	Východ	
<i>DPH</i>	Daň z přidané hodnoty	
<i>OTE</i>	Operátor trhu s elektřinou	
<i>OZE</i>	Obnovitelné zdroje energie	
<i>DC</i>	Stejnoseměrný proud/napětí	
<i>AC</i>	Střídavý proud/napětí	
$PP_p$	Prostá doba návratnosti	[rok]

<i>IN</i>	Investiční náklady	[Kč]
<i>CF</i>	Cash flow, tok peněz v čase	[Kč/rok]
<i>DCF</i>	Diskontované cash flow, diskontovaný tok peněz v čase	[Kč/rok]
<i>PP<sub>d</sub></i>	Diskontovaná doba návratnosti	[rok]
<i>r</i>	Diskontní sazba	[%]
<i>t</i>	Příslušný rok hodnocení projektu	[rok]

# 1 Úvod

V současné době zažívají obnovitelné zdroje energie velký rozmach. Pozornost je jim věnována především kvůli otázce ochrany životního prostředí a omezování spotřeby fosilních paliv. Slunce a sluneční záření nabízí neobnovitelným zdrojům energie zajímavou alternativu.

Solární energii je možné využít různými způsoby. Nejznámější je však její využití ve fotovoltaických elektrárnách, kde se solární energie přeměňuje na elektrickou energii díky fotovoltaickému jevu.

Fotovoltaická elektrárna produkuje bezemisní elektrickou energii. Díky minimálním provozním nákladům a jednoduché údržbě je fotovoltaika nenáročnou technologií vhodnou téměř pro každého. Fotovoltaické panely disponují dlouhou životností a spolehlivostí. Vedle celé řady výhod fotovoltaického systému výroby elektrické energie existuje i několik nevýhod. Mezi zásadní mínusy patří závislost na počasí, především na intenzitě slunečního záření v průběhu dne, kterou negativně ovlivňuje oblačnost. Výkon fotovoltaické elektrárny není po celý rok stejný, nejvyššího výkonu dosahuje v létě a nejnižšího v zimě, kdy slunce příliš nesvítí. Další nevýhodou může být omezená účinnost, kterou ovlivňuje nejen sklon a orientace panelů, ale také kvalita a typ panelů. Výše investičních nákladů se nedá zařadit explicitně mezi výhody, nebo nevýhody, protože každý projekt je jedinečný a nároky na obdržení státní dotace může, nebo nemusí splňovat.

## 1.1 Cíl

Cílem této diplomové práce je návrh fotovoltaické elektrárny pro pražský penzion Chmelnice. Majitelé penzionu by chtěli naplno využít potenciál střechy budovy, která je plochá a orientovaná na jih. Část spotřeby elektrické energie nyní zajišťují kogenerační jednotky na zemní plyn. Existují však obavy z nedostatku zemního plynu, které způsobuje současná energetická krize. Právě z tohoto důvodu uvažují majitelé o instalaci fotovoltaické elektrárny.

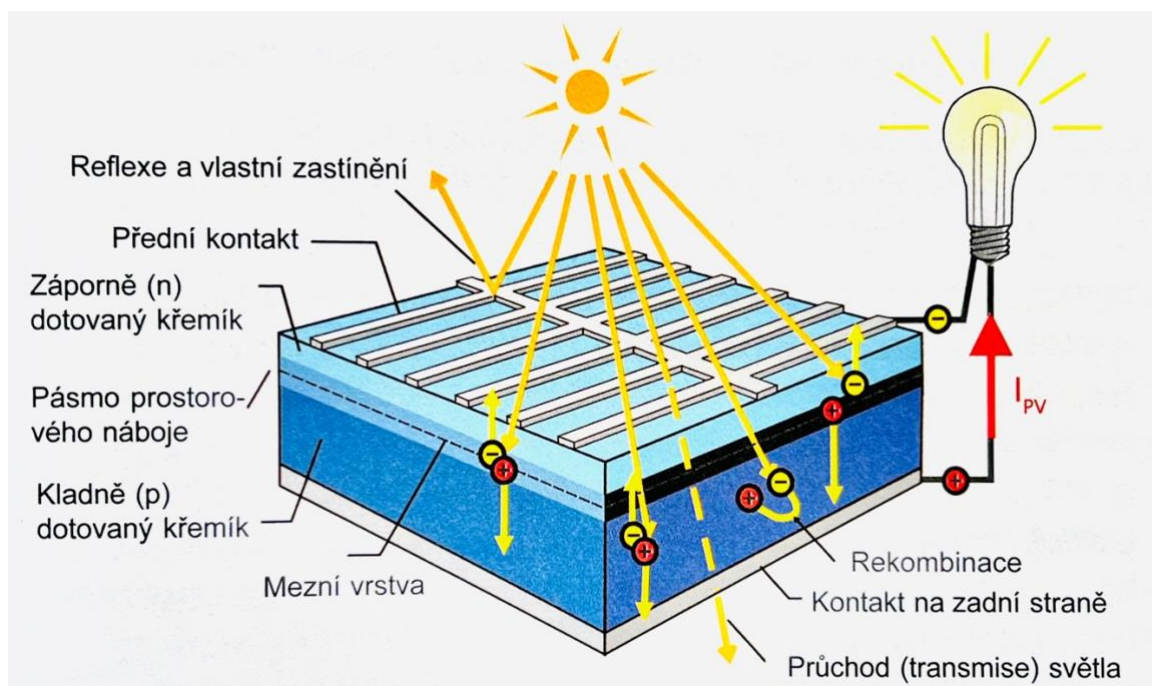
Tato diplomová práce je rozdělena na rešeršní a výpočtovou část. V rešerši je shrnuta technologie fotovoltaické elektrárny a stav fotovoltaických elektráren na území České republiky. Část rešerše je také věnovaná možnosti akumulace, nebo prodeji přebytečné vyrobené elektrické energie jako prostředek nakládání s přebytky vyrobené elektrické energie. Výpočtová část se týká vyhodnocení energetických toků v penzionu a na základě tohoto vyhodnocení je navrženo několik variant řešení

fotovoltaické elektrárny. V závěru práce jsou předložena řešení z technického a ekonomického hlediska vyhodnocena a je vybráno jedno nejvhodnější řešení.

## 2 Fotovoltaika

Fotovoltaická přeměna energie je proces, který umožňuje přímo přeměnit světelnou energii, energii ze Slunce, na elektrickou energii. Přeměnu zajišťuje fotovoltaický jev prostřednictvím solárních článků. Solární články se skládají z polovodičových materiálů.

Solární článek na obrázku 2-1 je tvořen dvěma oblastmi, kladně P a záporně N dotovanou, tedy částmi s umělým dodáním atomu jiného prvku, obvykle bóru a fosforu, za účelem změny jeho elektrické vodivosti. V přechodu PN mezi těmito dvěma oblastmi vzniká vnitřní elektrické pole, což je dáno difuzí elektronů z oblasti N do oblasti P a naopak. Díky tomu vzniká vrstva prostorového náboje, která shlukuje kladně nabitě částice dotujícího prvku v oblasti N a záporně nabitě částice v oblasti P. Protože není elektronová difuze nekonečná, je třeba využít světelné energie. Zářivá energie fotonů způsobí uvolnění elektronů z vazeb, na jejichž původním místě vznikne tzv. díra. Elektrony a díry mají rozdílný náboj, a tak jsou přitahovány do opačných směrů, kladné k zadní straně článku a záporné k přední straně článku. Důsledkem této skutečnosti vzniká elektrické napětí. [1]



Obrázek 2-1: Princip fotovoltaického jevu [1]

## 2.1 Solární článek

Solární článek nedokáže využít veškerou solární energii, která na něj dopadá. Největší podíl na ztrátách má dlouhovlnné a krátkovlnné záření. Dlouhovlnné záření článkem projde a krátkovlnné záření není možné využít. Další ztráty tvoří například ztráta odrazem, ztráta zastíněním předními kontakty, nebo absorpce nevyužité energie a její přeměna v teplo. Využít lze po započtení všech ztrát pouze přibližně 16 % dopadající energie.

Solární články se vyrábí z různých materiálů a dle různých koncepcí. Až 86 % solárních článků je tvořeno krystalickým křemíkem, který se získává roztavením křemenného písku a následným chemickým čištěním. Pro potřeby fotovoltaického průmyslu se v dnešní době využívá křemíkový odpad z výroby elektroniky, proto je fotovoltaika přímo závislá na elektronickém průmyslu. [1]

Solární články se podle způsobu výroby dále dělí na monokrystalické, polykrystalické a tenkovrstvé. Typů solárních článků je mnohem více, avšak tyto uvedené patří mezi nejrozšířenější. [1]

### 2.1.1 Monokrystalický článek

Monokrystalické články dosahují účinnosti až 17 % a jsou tvořené jedním krystalem. Jejich povrch je tmavomodrý, někdy až černý. Články mohou mít různý tvar, například šestihran, čtverec, nebo kruh. Tvar je dán především procesem výroby.

Články jsou opatřeny antireflexní vrstvou, aby bylo zabráněno příliš velkému odrazu světla. [1]

Monokrystalické články tvoří 25 % všech instalovaných solárních článků. [2]



Obrázek 2-2: Porovnání monokrystalického (vlevo) a polykrystalického (vpravo) článku [3]

### 2.1.2 Polykrystalický článek

Polykrystalické články dosahují účinnosti až 14,5 % a jsou tvořené více krystaly. Povrch je na rozdíl od monokrystalických článků jasně modrý, což je možné vidět na obrázku 2-2. Struktura je výrazně krystalická a tvar je převážně čtvercový. Výroba těchto článků je jednodušší než v případě monokrystalických článků. [1]

Polykrystalické články jsou nejrozšířenějším typem solárních článků a tvoří 66 % všech instalovaných solárních článků. [2]

### 2.1.3 Tenkovrstvý článek

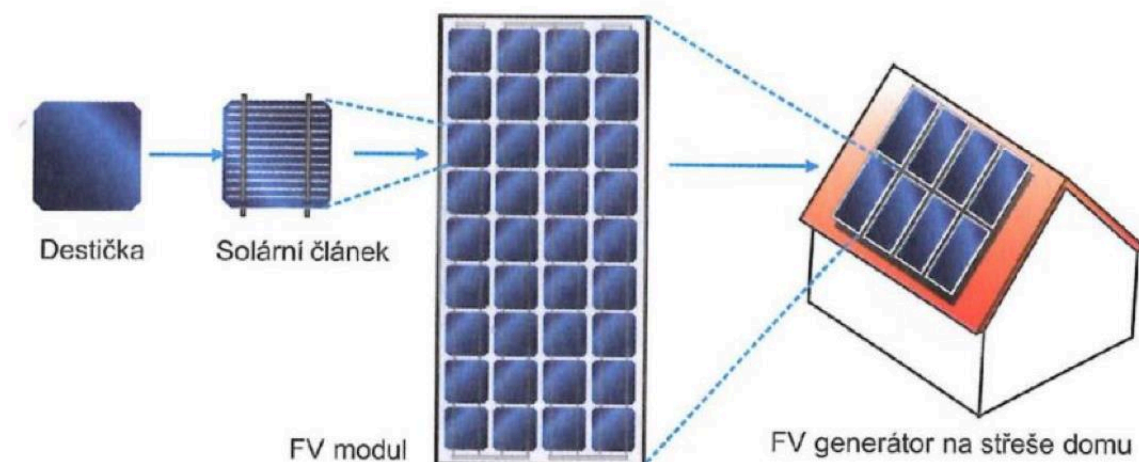
Protože je výroba monokrystalických a polykrystalických článků nákladná, byly za účelem snížení výrobních nákladů a celkové ceny vyvinuty tenkovrstvé články, které šetří materiál a energii při výrobním procesu. Tenkovrstvý článek je skoro průhledný, flexibilní a lépe využívá spektrální nabídku Slunce. Nevýhodou jsou však vyšší projekční a montážní náklady a nižší účinnost, která je srovnatelná s polykrystalickými články. Nejvyšší účinnosti, až 11 %, dosahují články vyrobené technikou CIS (Copper-Indium-diSelenid) a CdTe (Cadmium Tellurid). [1], [4]

Tenkovrstvé články zastávají 9 % z celkového počtu instalovaných solárních článků, z toho 5 % tvoří CdTe technologie. [2]

## 2.2 Solární modul

Jednotlivé solární články, kterých může být až 72, jsou sériově spojeny a tvoří solární modul. Přední kontakt článku, záporný pól, je připojen k zadnímu kontaktu, kladnému pólu, dalšího článku. Tento proces je automatizovaný. V případě tenkovrstvých článků je zapojení do série zajištěno již při výrobě.

Běžný krystalický modul má výkon 100 až 300 W, čemuž odpovídá plocha 0,6 až 2 m<sup>2</sup> a hmotnost 8 až 25 kg. [1]



Obrázek 2-3: Cesta od křemíkové destičky k FV generátoru [1]

Společně pak solární moduly tvoří fotovoltaický generátor. Cestu od křemíkové destičky po FV generátor ukazuje obrázek 2-3.

Fotovoltaické generátory lze rozdělit do dvou skupin dle způsobu zapojení k rozvodné síti. První skupinou jsou on-grid systémy, jež jsou připojeny na rozvodnou síť. Tam, kde by připojení na rozvodnou síť nebylo možné, což může být případ odlehlých objektů, se využívá off-grid systémů. Off-grid systémy lze využít k přímému napájení, ale i k akumulaci energie. [1]

## **2.3 Komponenty fotovoltaické elektrárny**

Fotovoltaická elektrárna se skládá nejen ze samotných solárních panelů, fotovoltaických generátorů, ale také z dalších komponent, které jsou nezbytné pro správné fungování celého systému.

### **2.3.1 Připojovací skříň generátoru**

Připojovací skříň generátoru je využívána v takových případech, kdy se fotovoltaické zařízení skládá z více větví. V připojovací skříni se jednotlivé větve propojí s hlavním stejnosměrným vedením, jež následně vede ke střídači. Pro aplikace s jednou, nebo dvěma větvemi, jsou fotovoltaické generátory napojeny přímo na střídač. [1], [5]

### **2.3.2 Ochranná opatření**

V případě poruchy, nebo při údržbě, je žádoucí, aby byly jednotlivé komponenty soustavy oddělené. K tomu slouží hlavní vypínač stejnosměrného proudu, který se nachází mezi fotovoltaickým generátorem a střídačem. [5]

Pro systémy, které jsou připojeny k veřejné síti, se používá zařízení ENS, z němčiny Einrichtung zum Netzschutz. Toto zařízení zajišťuje odpojení od veřejné sítě v případě přetížení, nebo zkratu. ENS funguje automaticky, většinou je integrováno přímo ve střídači. Pro fotovoltaické elektrárny se střídavým výkonem nad 30 kVA se již ENS nevyužívá, ale majitel fotovoltaické elektrárny je povinen plně zpřístupnit odpojovací místo provozovateli veřejné sítě. [1]

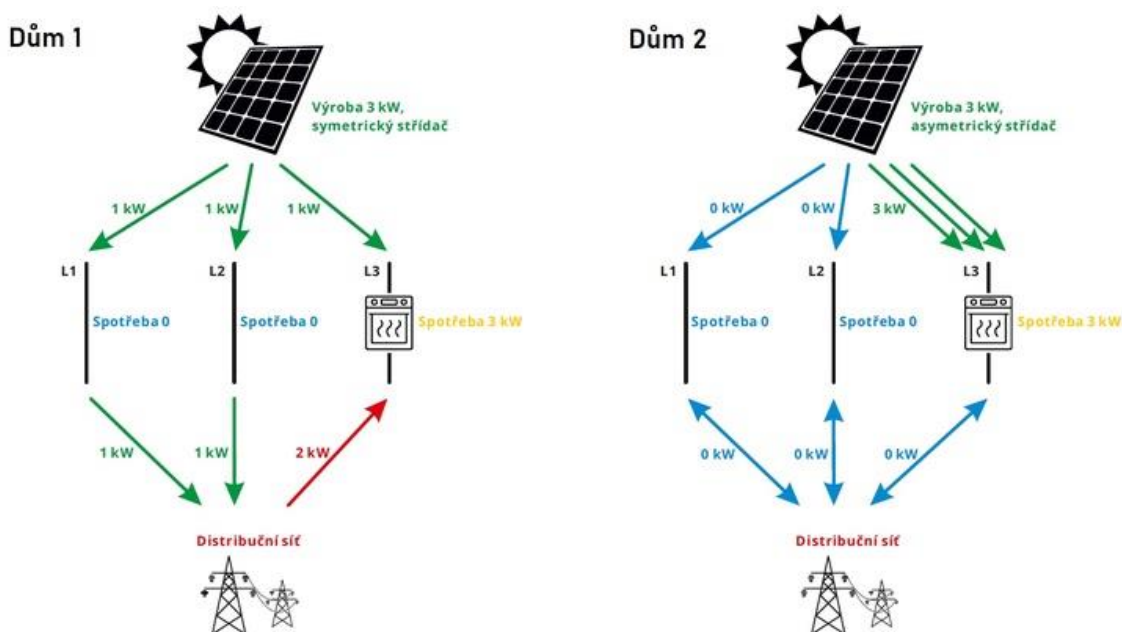
Fotovoltaické elektrárny na plochých střeších budov jsou vysoce ohroženy udeřením blesku. Je proto nutné nainstalovat i bleskosvodné zařízení. [1]

### **2.3.3 Střídač**

Z fotovoltaických panelů je získáván stejnosměrný proud, který však většina spotřebičů v běžných domácnostech nedokáže využít. K přeměně stejnosměrného proudu na střídavý proud se využívá střídače. Pro fotovoltaické elektrárny se aplikuje třífázový střídač. Ten pak může být buď symetrický, nebo asymetrický. Symetrický střídač rozdělí výkon celé fotovoltaické elektrárny rovnoměrně do všech tří fází. Opačně funguje asymetrický střídač. Asymetrický střídač nerovnoměrně dávákuje



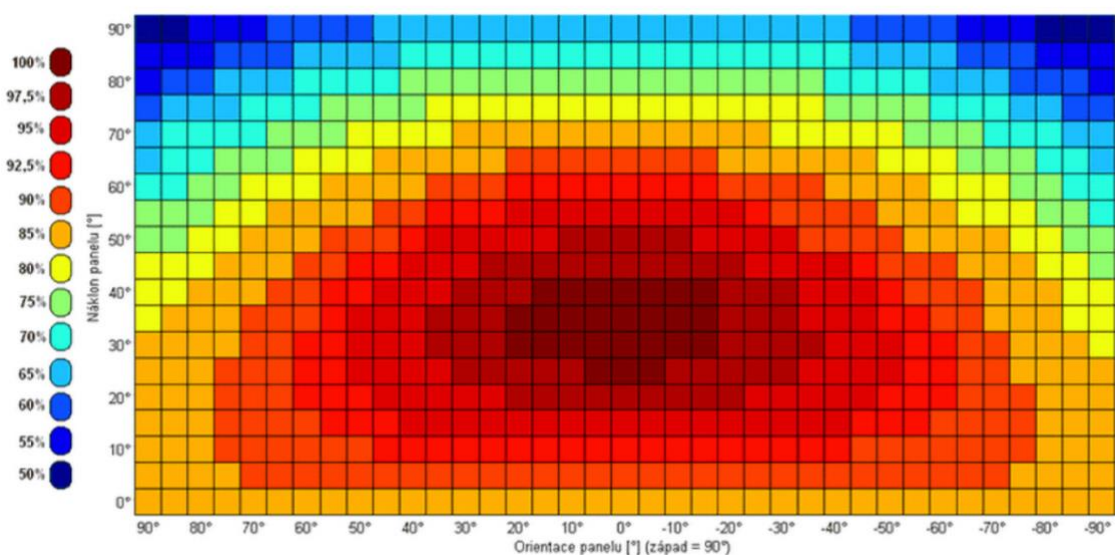
výkony do jednotlivých fází tak, jak je aktuálně potřeba. Schéma zmíněných typů střídače je zobrazeno na obrázku 2-4. [1], [4], [5], [6]



Obrázek 2-4: Princip symetrického a asymetrického střídače [7]

## 2.4 Výkon fotovoltaických panelů

Výkon fotovoltaických panelů se udává v jednotkách kilowatt-peak, což je měrná jednotka pro špičkový výkon fotovoltaické elektrárny při standardizovaných podmínkách, jimiž jsou teplota 25 °C, průzračnost atmosféry a kolmý dopad světla na panel. Udává se, že 1 kWp je schopen vyrobít až 950 kWh elektrické energie za rok. Nejvyšších výkonů dosahují fotovoltaické panely s orientací na jih, což je možné vidět na obrázku 2-5. [8], [9]



Obrázek 2-5: Vliv sklonu a orientace panelu na účinnost panelu [9]

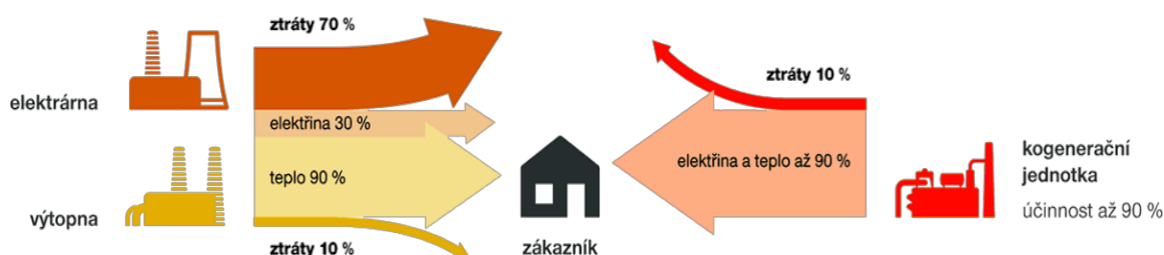
V České republice se nejčastěji volí optimální sklon panelů  $35^\circ$  s orientací na jih. Sklon nižší než  $35^\circ$  přichází v úvahu na plochých střechách. Energetická výnosnost takových panelů se však snižuje a nevýhodou může být také větší znečištění panelů. Naopak panely s vyšším sklonem, tedy nad  $35^\circ$ , dokážou lépe využít vytyčený prostor. Při instalaci takových panelů je třeba dbát na vyšší nároky na zatížení, což je způsobeno růstem plochy, do které se opírá vítr. [10]

Na obrázku 2-5 je také možné dle orientace panelu a jeho sklonu odečíst a určit, jaká bude výnosnost fotovoltaické elektrárny v porovnání s fotovoltaickou elektrárnou s optimálním sklonem a orientací, tedy panelem se sklonem  $35^\circ$  a orientací na jih.

Maximálního instalovaného výkonu je teoreticky možné dosáhnout v měsících, kdy je intenzita solárního záření nejvyšší, převážně v letních měsících a za předpokladu bezoblačné oblohy. Výkon FV panelů také závisí na rozmístění panelů dle světových stran, sklonu a celkové instalované ploše panelů.

### 3 Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie KVET

Kombinovaná výroba elektřiny a tepla neboli kogenerace je způsob zajištění vyššího využití energie z paliva. Při klasické výrobě elektrické energie v kondenzačních elektrárnách je teplo vzniklé při výrobě započítáno ke ztrátám systému a je vypouštěno do okolí. V objektech, kde je nainstalovaná kogenerační jednotka, je vzniklé teplo spotřebováno přímo v objektu. Na obrázku 3-1 je možné vidět porovnání klasické oddělené výroby tepla a elektřiny v kondenzačních elektrárnách s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla. [11]



Obrázek 3-1: Porovnání oddělené výroby tepla a elektřiny s KVET [11]

Běžná kogenerační jednotka disponuje soustrojím motor-generátor. Palivem je nejčastěji zemní plyn a celková účinnost jeho využití dosahuje až 90 %. Vyrobené teplo prochází přes výměník do otopného systému. Kogenerační jednotky se vyrábí v široké škále výkonů, od jednotek  $\text{kW}_e$  po stovky  $\text{MW}_e$ . [12], [13]

Mezi výhody instalace kogeneračních jednotek patří jednoznačně zmíněná úspora paliva, možnost dosažení energetické nezávislosti soukromého objektu, nebo z ekologického hlediska snížení emisí skleníkových plynů. Nevýhodou pak mohou být vyšší investiční náklady, nebo například nutná ochrana proti hluku. [14]

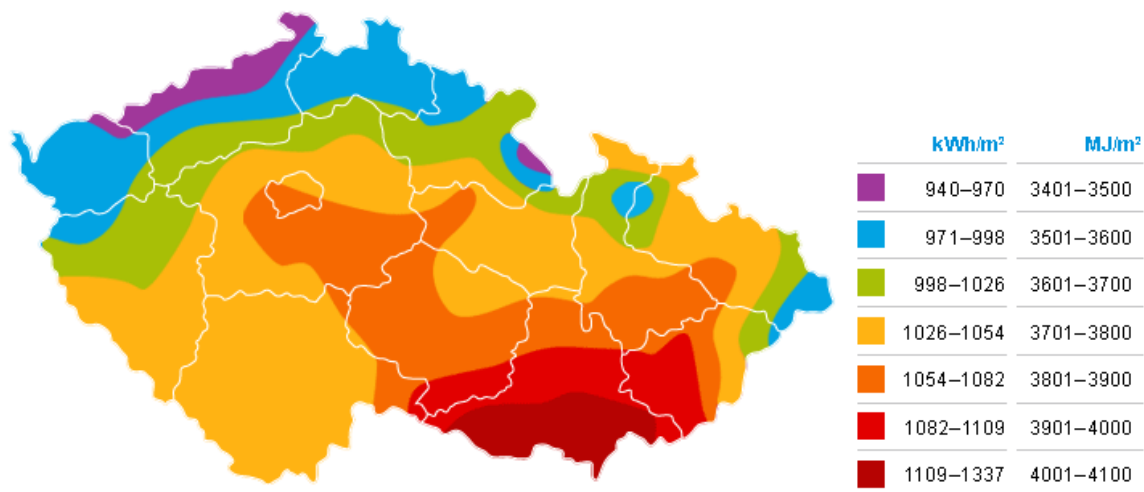
Světovému trhu s kogeneračními jednotkami dominuje společnost TEDOM. V dnešní době nabízí jak kogenerační jednotky v široké škále výkonů, tak i možnost využití různých druhů paliv od zemního plynu po bioplyn. Dle výkonnosti má TEDOM rozdělené skupiny kogeneračních jednotek na MICRO 20-55  $\text{kW}_e$ , CENTO 75-220  $\text{kW}_e$ , FLEXI 250-555  $\text{kW}_e$  a QUANTO 600-4 500  $\text{kW}_e$ . [15]

## 4 Solární energie v České republice

Dostupnost solární energie se odvíjí od počasí, ročního období, denní doby a zeměpisné šířky. Energie ze Slunce, která za jednotku času dopadne na jednotku plochy kolmou ke směru šíření záření při průměrné vzdálenosti od Slunce, se nazývá solární konstanta a má hodnotu  $1\,367\text{ W/m}^2$ .

Nejdůležitějším faktorem při vyhodnocování dostupnosti solární energie na daném území je intenzita slunečního záření dopadajícího na zemský povrch. Má dvě složky – přímou a difúzní. Přímá dopadá na povrch Země bez rozptylu v atmosféře, difúzní naopak. [4]

Na mapě na obrázku 4-1 je možné vidět intenzitu solárního záření v České republice za ideálních podmínek. Nejvyšších hodnot ozáření je dosahováno na jihu Moravy, nejnižších pak v Krušných horách. Praha dosahuje průměrných hodnot.



Obrázek 4-1: Intenzita solárního záření v České republice [16]

### 4.1 Fotovoltaické elektrárny v ČR

V České republice je fotovoltaická elektrárna s menším výkonem, v řádech jednotek kWp, na střechách rodinných domů vcelku běžnou záležitostí. Celkový instalovaný výkon fotovoltaických elektráren v České republice činí k počátku roku 2023 2,46 GWp. Tento výkon je rozdělen mezi 84 256 fotovoltaických elektráren. V roce 2019 činil instalovaný výkon 2,1 GWp. [17]

Za rok 2022 zaznamenala Česká republika enormní nárůst zájmu o fotovoltaické elektrárny. Tento nárůst mohla způsobit vysoká cena elektrické energie, obavy ohledně stability dodávek zemního plynu ze zahraničí, nebo také nový program Nová zelená úsporám, který poskytuje domácnostem dotaci na pořízení fotovoltaické elektrárny. [17]

Jak je uvedeno v úvodu této kapitoly, fotovoltaické elektrárny na střechách rodinných domů, nebo také penzionů a hotelů jsou v České republice obvyklým jevem.

Jako příklad je možné uvést zrekonstruovaný hotel Thermal v Karlových Varech, který má na střeše fotovoltaickou elektrárnu s instalovaným výkonem 30 kWp. Veškerá vyrobená energie je v hotelu spotřebována. [18]

Dále se dvě fotovoltaické elektrárny nachází např. na střeše hotelu Happy Star u Znojma. Tyto FVE mají výkon 30 a 18 kWp. [19]

V obci Seč v areálu hotelu Jezerka je vybudována fotovoltaická elektrárna s výkonem 44 kWp, která se skládá ze 109 ks fotovoltaických panelů o výkonu 405 Wp. Předpokládaná výroba elektrické energie za rok tvoří zhruba 40 MWh. [20]

Hotely tak čím dál častěji využívají možnost snížení závislosti na tradičních zdrojích energie a dodávkách elektrické energie ze sítě.

## **4.2 Fotovoltaické elektrárny a kogenerační jednotky**

Spolupráce fotovoltaické elektrárny s kogeneračními jednotkami není v České republice neobvyklá. Nejmodernější systém má společnost ADLER Czech ve svém logistickém centru v Ostravě-Kunčičkách. Na střeše a na plášti objektu je instalováno 947 fotovoltaických panelů, a i díky kondenzačním kogeneračním jednotkám je prakticky zajištěno pokrytí spotřeby elektrické energie. [21]

Dalším takovým systémem je projekt Akumulace FVE Výčapy. Společnost TEDOM a.s. v roce 2016 nainstalovala ve Výčapech fotovoltaickou elektrárnu o výkonu 51 kWp, baterii o kapacitě 81 kWh a kogenerační jednotku o výkonu 30 kW<sub>e</sub>. V případě vybití baterie je veden povel ke startu kogenerační jednotky. [22]

Dosud není známo, zda by byly tyto dvě technologie společně aplikovány na objektu rekreačního charakteru jako je hotel, či penzion.

## 5 Možnost ukládání přebytků elektrické energie

Po instalaci fotovoltaické elektrárny se průběh výroby elektrické energie nemusí shodovat s křivkou potřeby energie v průběhu jednoho dne, a tak je nutné zavést způsob, jakým řešit nedostatky a přebytky elektrické energie.

Volba správného systému je důležitým úkolem při navrhování fotovoltaické elektrárny. Existuje nespočet možností, jak ukládat přebytky elektrické energie – od baterií, akumulace k využití ohřevu teplé užitkové vody, po různé formy spolupráce s dodavatelem elektrické energie na bázi posílání přebytků do vnější sítě, nebo zavedení tzv. virtuální baterie. Tato kapitola se věnuje bateriím a formám spolupráce s dodavatelem elektrické energie.

### 5.1 Bateriová úložiště

Baterie jsou elektrochemická zařízení, která přeměňují chemickou energii na energii elektrickou.

Bateriová úložiště pro systémy s fotovoltaikou by měla být flexibilní, mít vysokou cyklickou odolnost, dlouhou dobu životnosti a krátkou dobu dobíjení. Zároveň existují požadavky na umístění baterií, mezi které patří například adekvátní odvětrávání. To je důležité z hlediska odvádění tepla a s tím související udržování na provozní teplotě, ve většině případů 25 °C. [23]

Jednotlivé baterie se mezi sebou porovnávají a charakterizují se podle několika parametrů. Prvním z nich je kapacita baterie. Kapacita baterie se udává v kilowatthodinách a závisí na provozních podmínkách. Dalšími parametry jsou jmenovité napětí, životnost, která souvisí s počtem cyklů nabíjení, nebo rychlost nabíjení, C-rate. Také se porovnává parametr hloubky vybití, Depth of discharge DOD, který vyjadřuje míru odebrané energie z baterie v procentech. S tímto pojmem souvisí i termín stav nabití, State of charge SOC. [24]

Vztah mezi hloubkou vybití a stavem nabití udává rovnice (5.1).

$$SOC + DOD = 1 \quad (5.1)$$

Baterii charakterizuje i hustota energie. Hustota energie udává, kolik energie je možné uložit na jednotku objemu, případně na jednotku hmotnosti.

Bateriové úložiště se skládá ze sekundárních elektrochemických článků. Každý článek tvoří dvě elektrody a elektrolyt. [23], [24]

Existuje několik různých typů baterií. Olověné baterie mají katodu z oxidu olovnatého, anodu z olova a elektrolyt z kyseliny sírové. Výhodou olověných článků je flexibilita a vysoká účinnost cyklu (až 90 %). Nevýhodou je nízká životnost, jež dosahuje zhruba 600 cyklů. U lithium-iontové baterie, Li-ion, je katoda z oxidu lithného, anoda je grafitová. Elektrolyt obsahuje rozpuštěné lithné soli. Li-ion baterie mají až 3krát vyšší energetickou hustotu než olověné baterie a až 10krát vyšší životnost. Do skupiny lithiových baterií spadají další typy – lithium-mangan oxid LMO, lithium-nikl-mangan-kobalt oxid NMC, lithium-nikl-kobalt-hliník oxid NCA a lithium-železo-fosfát LFP. [24]

V dnešní době se nejčastěji využívá baterií typu LFP, které nesou také označení  $\text{LiFePO}_4$ . Jejich životnost dosahuje až 7 tisíc cyklů, nevyžadují prakticky žádnou údržbu a využívají až 90 % své kapacity. [25], [26]

Pro příklad jsou uvedeny nejprve baterie značky AMASS STORE BATTERY, typ GTX3000. Tyto baterie typu LFP mají životnost 6 000 cyklů a jsou složeny ze 4 až 10 bateriových modulů. Jeden bateriový modul váží 30 kg a jeho rozměry jsou 515 x 478,8 x 125 mm. Celá baterie má tak výšku od 770 do 1 520 mm a hmotnost od 138 do 318 kg. Nominální kapacita jednoho modulu je 2,5 kWh. Cena jedné baterie se pohybuje od 141 692 Kč do 316 538 Kč bez DPH. Bloky baterií je možné paralelně řadit a dosáhnout tak kapacity až 100 kWh. [27], [28]

Dalším příkladem jsou baterie TRIPLE Power výrobce SolaX. Technologie je stejná jako v prvním případě a jde tedy o baterie typu LFP. SolaX nabízí baterie v kapacitách 4,5 kWh, 5,8 kWh a 6,3 kWh. V jednom systému mohou být sériově zapojeny až 4 baterie. Maximálně je tak možné dosáhnout kapacity 25,2 kWh. Dále je možné společně paralelně zapojit až 10 systémů, které nabízejí kapacitu 252 kWh. Baterie SolaX T58 Slave s kapacitou 5,8 kWh má rozměry 474 x 193 x 708 mm, hmotnost 72,2 kg a stojí 63 980 Kč bez DPH. [29], [30], [31]

## 5.2 Ukládání do zásobníku teplé vody

Pokud je přebytečná elektrická energie vyrobená fotovoltaickou elektrárnou využita pro ohřev TUV v zásobníku, jedná se o nepřímé uskladnění elektrické energie. Elektřina je pomocí elektrické odporové spirály přeměněna na tepelnou energii a využita k akumulaci teplé vody v zásobníku.

Pro případy s velkými fotovoltaickými elektrárnami s dostatečně velkými zásobníky vody je možné přebytečnou elektřinu využít jak pro ohřev a akumulaci teplé vody, tak i pro vytápění.

Výhodou tohoto systému je maximální využití elektrické energie v objektu. Nevýhodou je pak potřeba prostoru pro instalaci tepelného zásobníku. [32]

### 5.3 Virtuální baterie

Virtuální baterie je jedním z dalších možných způsobů, jak uložit přebytky vyrobené elektřiny z fotovoltaické elektrárny, avšak bez nutnosti pořízení dalšího zařízení. Princip spočívá v ukládání elektrické energie do sítě, např. v létě, nebo přes den, kdy výroba přesahuje spotřebu. Naopak v zimě, nebo v noci, je možné odebírat uloženou energii ze sítě a dále ji využít.

Samotná služba a možnost uložení přebytků do virtuální baterie je placená. Cena za poskytování virtuální baterie se odvíjí od cen silové elektřiny, distribučních nákladů a poplatků stanovených dodavateli služby.

Služba virtuální baterie rozhodně není alternativou fyzickým bateriím, a to z toho důvodu, že neposkytuje zálohování domu při výpadku sítě. [33]

Tabulka 5-1: Služba virtuální baterie - E.ON a ČEZ, převzato z [33]

	E.ON	ČEZ
Název produktu	Virtuální baterie	Elektřina pro soláry
Připojení FVE	max. 10 kWp, bez licence	
Roční paušál	0 Kč/rok	1 096 Kč
Platba za kapacitu	588-1 497 Kč/MWh	0 Kč/MWh
Cena	od 588 Kč/MWh	od 110 Kč/MWh
Úspora	cena silové elektřiny	
Kdy se vyplatí?	od 500 kWh/rok do 4 000 kWh/rok	od 1 000 kWh/rok do 10 000 kWh/rok

Obě společnosti nabízejí službu virtuální baterie pro FVE s výkonem do 10 kWp. Rozdíl mezi Virtuální baterií E.ON a Elektřinou pro Soláry je v ročním paušálu a platbě za kapacitu, ceník je vyobrazen v tabulce 5-1. E.ON nabízí službu zadarmo, u ČEZ se nemusí platit za kapacitu. Elektřina pro soláry od ČEZ se vyplatí pro větší spektrum uloženého množství elektrické energie, a to od 1 000 kWh do 10 000 kWh/rok.



## 5.4 Prodej přebytků

Poslední uvedenou možností je prodej přebytečné elektřiny dodavatelům. Na trhu je v dnešní době několik způsobů, jak elektřinu dodavateli prodat.

Pražská energetika se svým programem PRE Proud Solar nabízí provozovateli fotovoltaické elektrárny za každou MWh dodanou do distribuční sítě slevu 3 500 Kč na každou MWh odebranou z vnější sítě. [34]

BezDodavatele.cz přebytky vykupuje od provozovatele FVE za aktuální velkoobchodní spotové ceny, které jsou stanovovány státní společností OTE. Za spotovou cenu je pak možné od nich zpět odebírat elektřinu v případě nedostatku z FVE. [35]

Centropol Energy vykupuje přebytky za předem stanovenou cenu. V současné době, od 1.2.2023, je cena za výkup stanovena na 3 500 Kč/MWh. [36]

## 6 Penzion Chmelnice

Penzion, pro který je v této práci proveden návrh fotovoltaické elektrárny, se nachází v Praze 3 v ulici Na Chmelnici 1957/9.

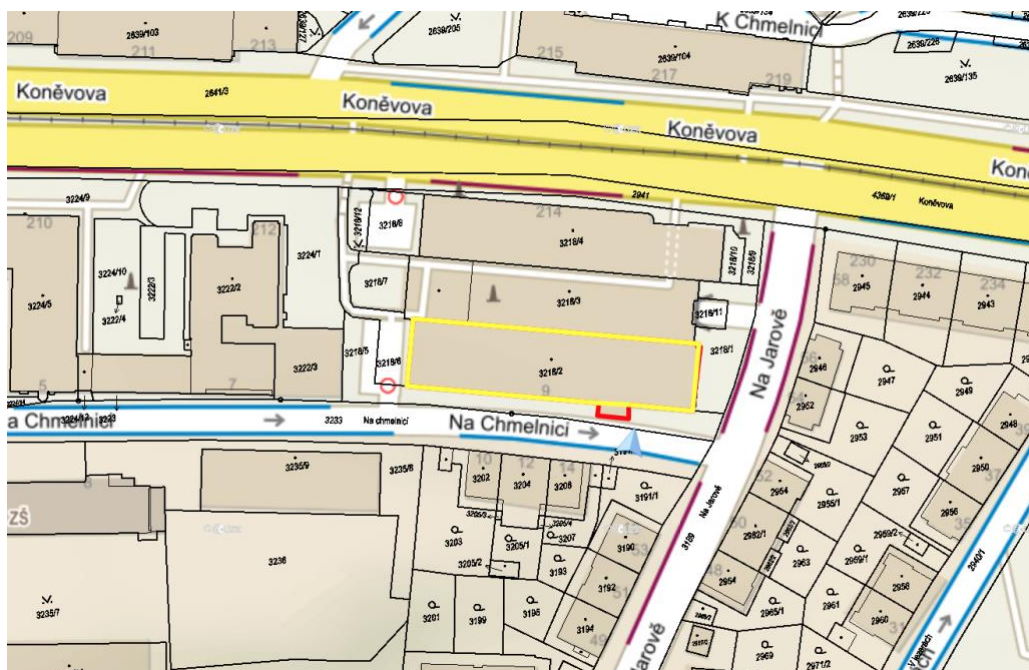
Budova je zateplená s rozměry 17 x 70 metrů, má 5 pater a je rozdělena na část penzionu a část ubytovny.



Obrázek 6-1: Pohled na penzion Chmelnice

V penzionu se nacházejí dvoulůžkové, třílůžkové a čtyřlůžkové pokoje. Dvoulůžkové a třílůžkové pokoje mají většinou společnou kuchyňku, předsíň a sociální zařízení. Část pokojů disponuje vlastním sociálním zařízením a koupelnou se sprchou. Celková kapacita objektu činí 315 lůžek a průměrná obsazenost objektu je 187 osob, což zahrnuje jak dlouhodobé, tak i krátkodobé pobyty.

Na katastrální mapě na obrázku 6-2 je možné vidět, že se penzion nachází v blízkosti ulice Koněvova. Koněvova ulice je hlavní dopravní tepnou městské části Prahy 3 – Žižkova. Rušnost ulice je podpořena i provozem tramvají.



Obrázek 6-2: Katastrální mapa okolí penzionu Chmelnice

V budově jsou v současnosti 2 kogenerační jednotky, každá s výkonem 30 kW<sub>e</sub>, a také plynový kotel s výkonem 750 kW. Teplou vodu zajišťují 2 zásobníky o objemu 400 litrů a 500 litrů. Vodu v nich ohřívají právě kogenerační jednotky. Tyto technologie se nachází v kotelně penzionu. Pohled na kogenerační jednotky zobrazuje obrázek 6-3.



Obrázek 6-3: Kogenerační jednotky v kotelně penzionu Chmelnice

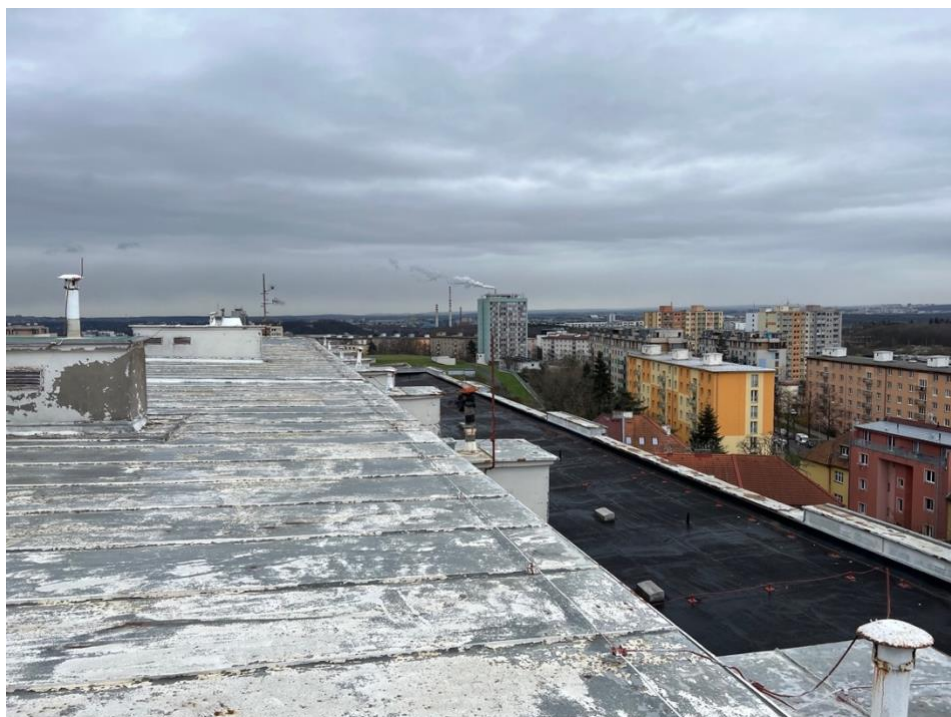
Budova penzionu je orientovaná na jih, proto by mohla být ideálním místem pro instalaci fotovoltaické elektrárny. Střecha budovy je plochá, uprostřed je dostaveno patro o rozměrech 63 x 7 metrů. Toto patro by majitelé v budoucnu chtěli zrekonstruovat a vybudovat v něm byty s výhledem na Prahu.

Obrázek 6-4 ukazuje pohled ze západní části střechy na východ. Je zde vidět přistavěné patro.



*Obrázek 6-4: Pohled ze západní části střechy na východ*

Na obrázku 6-5 je možné vidět pohled opět na východní část střechy, tentokrát však z přistavěného patra. Je to zároveň plocha, kam by měla být budoucí fotovoltaická elektrárna umístěna.



*Obrázek 6-5: Pohled na východní část střechy přistavěného patra*

Obrázek 6-6 zobrazuje pohled ze spodní části střechy na severozápad.



*Obrázek 6-6: Pohled na severozápad ze spodní části střechy*

## 6.1 Spotřeba elektrické energie a tepla

Od majitelů penzionu byl získán měsíční přehled za rok 2022 o elektrické energii, která je odebírána z vnější sítě a kterou odebírá penzion z kogeneračních jednotek. Zároveň bylo doplněno i teplo vyrobené kogeneračními jednotkami a spotřebované v penzionu.

Veškerá data jsou shrnuta v tabulce 6-1.

Ve druhém a třetím sloupci tabulky je zobrazena měsíční spotřeba tepla a elektrické energie vyrobené kogeneračními jednotkami, v dalším sloupci jsou měsíční spotřeby elektřiny, kterou penzion odebral z vnější sítě od dodavatele PRE. Sloupec Součet značí celkovou spotřebu elektrické energie v penzionu.

Tabulka 6-1: Spotřeba elektřiny a tepla v penzionu Chmelnice v roce 2022

	KJ spotřeba [kWh]		Odběr z vnější sítě [kWh]	Součet [kWh]
	teplo	elektřina	elektřina	elektřina
leden	81 094	15 196	43	15 239
únor	73 358	13 296	37	13 333
březen	78 964	15 380	232	15 612
duben	68 300	14 384	364	14 748
květen	26 628	7 315	4 482	11 797
červen	20 347	5 692	5 354	11 046
červenec	18 567	5 065	5 928	10 993
srpen	18 872	5 473	5 938	11 411
září	34 431	8 865	3 633	12 498
říjen	50 058	13 881	684	14 565
listopad	69 492	14 874	115	14 989
prosinec	77 578	16 553	9	16 562
<b>celkem</b>	<b>617 689</b>	<b>135 974</b>	<b>26 819</b>	<b>162 793</b>

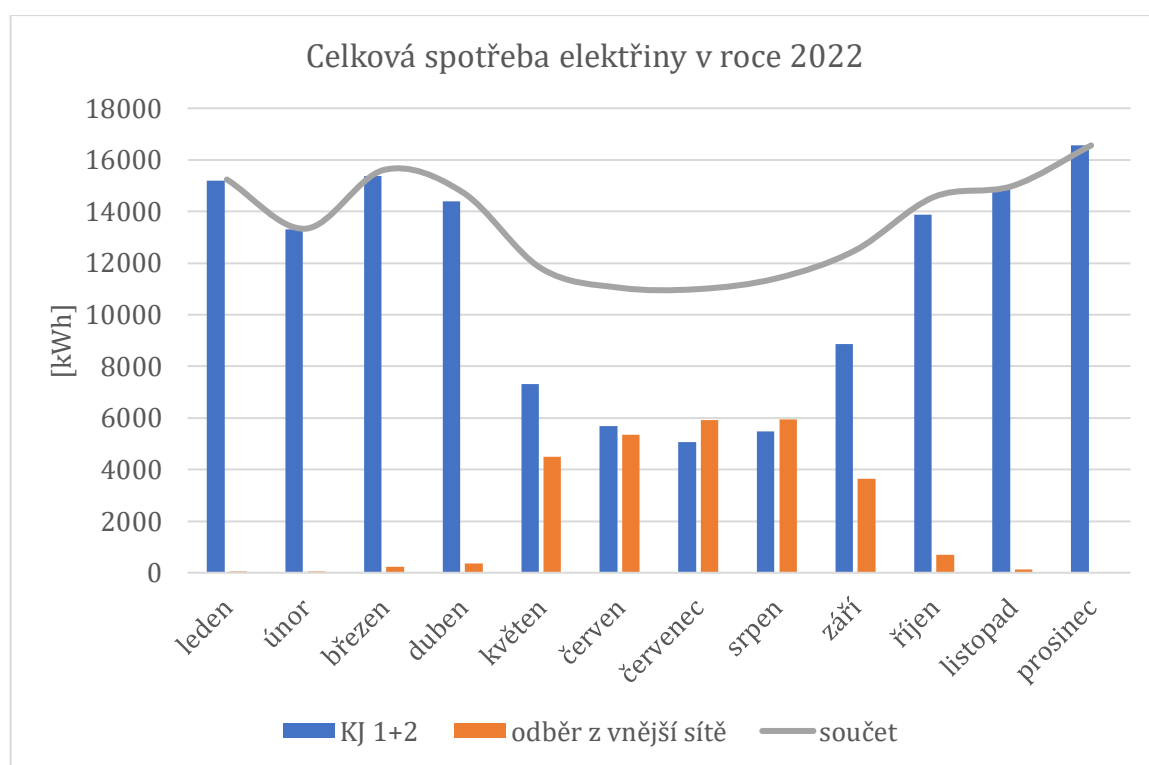
V grafu 6-1 je možné vidět, že celková spotřeba elektrické energie v penzionu je z velké části roku takřka konstantní, pokud se zohlední počet dní v daném měsíci. Mírný pokles spotřeby elektřiny je zřejmý v letních měsících, od června do září. Tento

pokles může být dát například tím, že dlouhodobě ubytovaní hosté odjíždějí na dovolené a celkově může být zájem o ubytování nižší.

Průběh odběru elektrické energie z vnější sítě je velmi podobný průběhu výroby elektřiny z fotovoltaické elektrárny za rok. Největší výroba elektřiny z fotovoltaické elektrárny a zároveň největší odběr z vnější sítě probíhá v letních měsících.

Pokud by fotovoltaická elektrárna měla pokrýt odběr elektrické energie z vnější sítě, ideálním instalovaným výkonem by bylo přibližně 27 kWp, což odpovídá ročnímu odběru elektrické energie z vnější sítě, a to 26,82 MWh.

V dnešní nejisté době, v době energetické krize, přichází obava o nedostatek zemního plynu, který je zdrojem energie pro kogenerační jednotky. Předpokládá se proto, že by fotovoltaická elektrárna mohla také vypomoci kogeneračním jednotkám s výrobou elektrické energie. V případě, že by v průběhu dne nastaly přebytky ve výrobě elektřiny z fotovoltaické elektrárny, mohla by tato elektřina být využita buď k ohřevu vody pro hygienické účely a vytápění, nebo by byly přebytky prodávány dodavatelům za předem stanovených podmínek. V úvahu připadá i akumulace do baterií.



Graf 6-1: Celková spotřeba elektřiny v roce 2022

## 6.2 Provoz kogeneračních jednotek

Jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly 6, v penzionu se nacházejí 2 kogenerační jednotky TEDOM Micro 30 o elektrickém výkonu 30 kW<sub>e</sub> a tepelném výkonu 58,1 kW<sub>t</sub>. Palivem je zemní plyn.

Kogenerační jednotky jsou vlastněny a provozovány firmou OnSite Power. Výhodou tohoto projektu byla především nepotřeba počáteční investice. Majitelé penzionu platí firmě OnSite Power sazbu za odebrané teplo a spotřebovanou elektřinu bez poplatků za distribuci.

Kogenerační jednotky pracují v režimu pokrytí potřeby tepla.

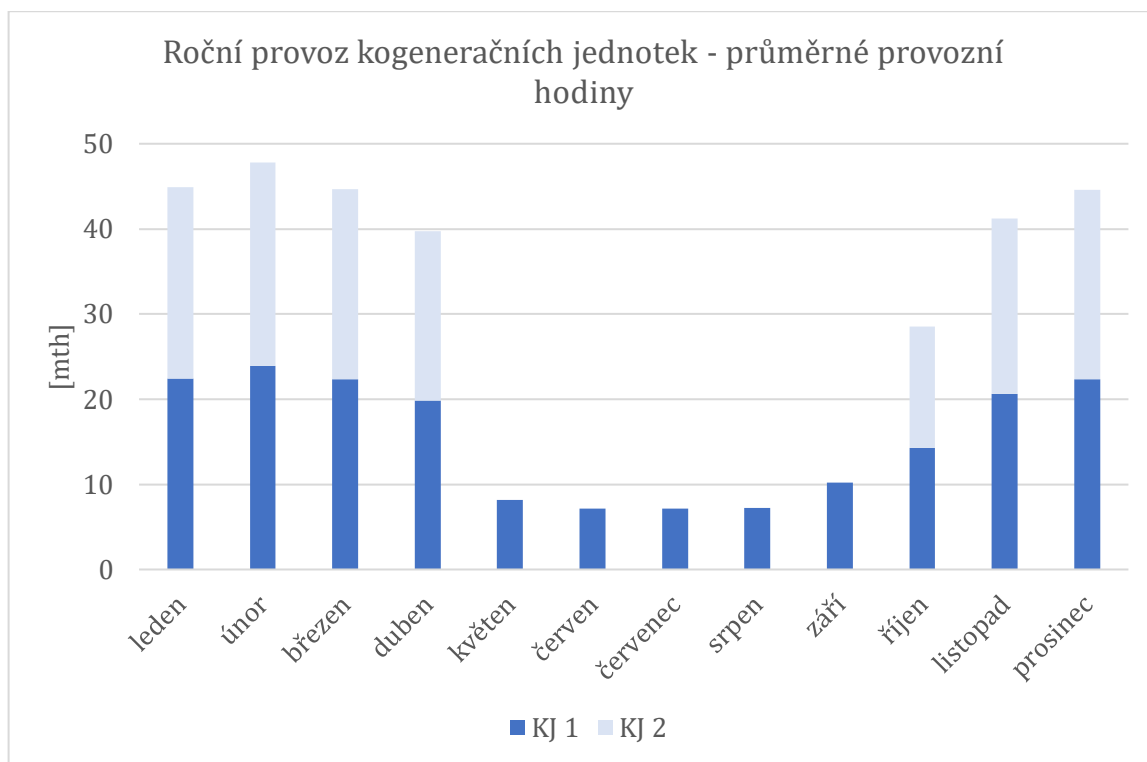
V tabulce 6-2 jsou shrnuta data o provozu kogeneračních jednotek vzhledem k vyrobenému teplu a vyrobené elektrické energii. V posledním sloupci tabulky jsou uvedeny minimální odběry tepla pro každý měsíc roku, které byly určeny provozovatelem kogeneračních jednotek OnSite Power a které jsou smluvně vázány Smlouvou o provozu kogenerační jednotky a o dodávkách tepla.

Tabulka 6-2: Provoz KJ v roce 2022 a minimální odběr tepla z KJ daný smlouvou

	KJ výroba elektřiny [kWh]	KJ výroba tepla [kWh]	KJ minimální odběr tepla [kWh]
leden	41 682	80 791	63 374
únor	38 221	74 083	61 139
březen	41 471	80 382	52 151
duben	35 666	69 130	38 363
květen	14 060	27 252	17 385
červen	10 795	20 924	15 510
červenec	9 840	19 073	14 508
srpen	10 058	19 495	14 796
září	18 136	35 152	17 785
říjen	26 037	50 467	43 408
listopad	36 766	71 262	45 670
prosinec	41 207	79 870	60 511
<b>celkem</b>	<b>323 939</b>	<b>627 882</b>	<b>444 599</b>



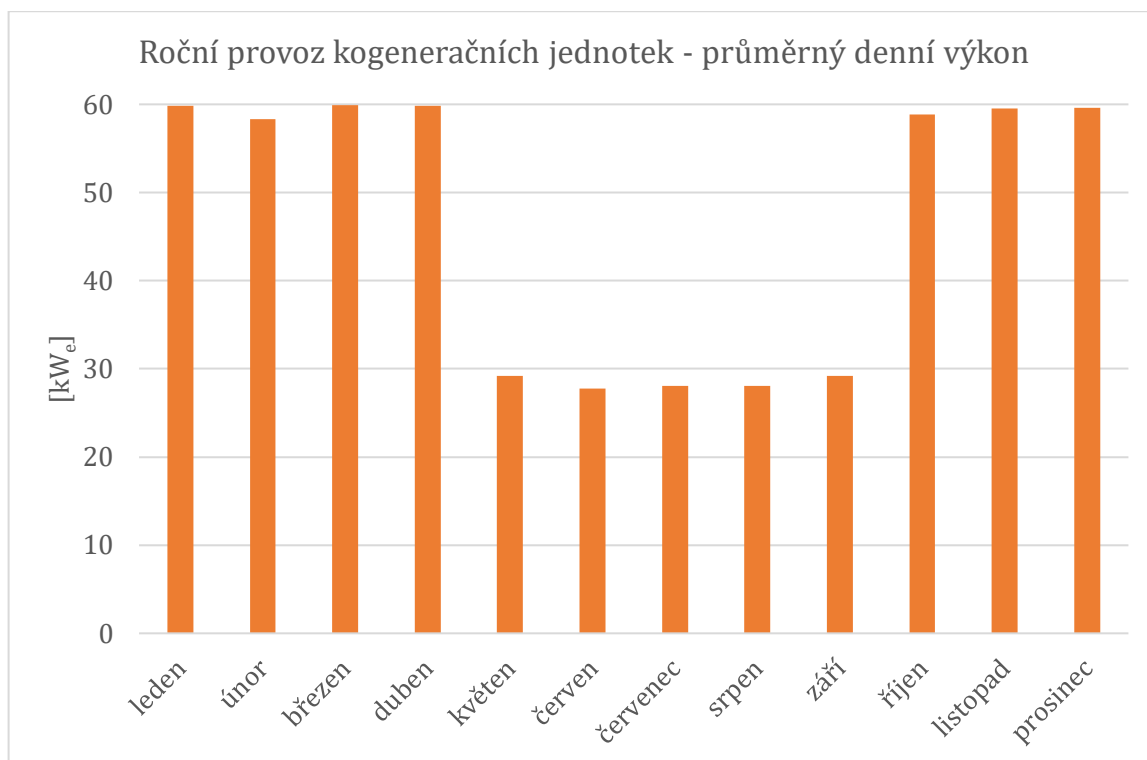
Díky datům o provozu kogeneračních jednotek z roku 2022 od TEDOM a.s. bylo možné zjistit, v jakém ročním období byly v provozu obě kogenerační jednotky současně a kdy byla v provozu pouze jedna z nich. Předpokládá se, že provoz kogeneračních jednotek byl identický i v předchozích letech.



Graf 6-2: Roční provoz kogeneračních jednotek - průměrné provozní hodiny

Na grafu 6-2 je možné vidět, kolik hodin denně jsou průměrně kogenerační jednotky v provozu. Tmavě modře je vyobrazena první KJ a světle modře pak druhá KJ. Je zřejmé, že společně jsou kogenerační jednotky v provozu od října do dubna. Od začátku května do 19. září je pak v provozu pouze jedna kogenerační jednotka, a to jen po kratší část dne. Znamená to tedy, že kogenerační jednotka v krátkém časovém období ohřeje potřebnou teplou vodu v zásobnících a poté se vypne. Tato provozní strategie je zřejmá i z množství elektrické energie odebraného z vnější sítě. V tomto období roku, od května do září, odebírá penzion nejvíce elektrické energie z vnější sítě, což bylo ukázáno v kapitole 6.1 na grafu 6-1.

V dalším grafu 6-3 je zobrazen průměrný denní výkon kogeneračních jednotek opět poskytnutý společností TEDOM a.s. Z grafu 6-3 lze vyčíst, že elektrický výkon kogeneračních jednotek nabývá ve většině měsíců svého maxima, tedy 30 kW, v případě, že jsou v provozu obě kogenerační jednotky, tak 60 kW.



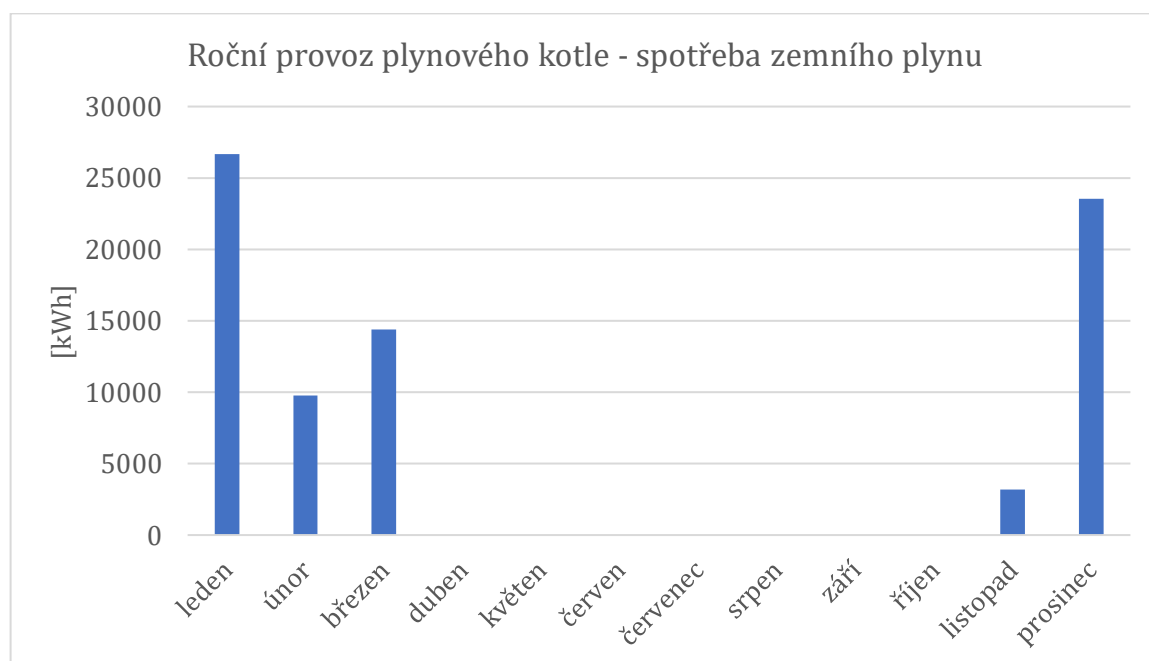
Graf 6-3: Roční provoz kogeneračních jednotek - průměrný denní výkon

### 6.3 Provoz plynového kotle

V měsících, kdy kogenerační jednotky nedokážou pokrýt spotřebu tepla, je uveden do provozu kotel na zemní plyn. V tabulce 6-3 a grafu 6-4 je shrnuto množství zemního plynu v kWh, které spotřeboval kotel v roce 2022. Data poskytli majitelé penzionu.

Tabulka 6-3: Roční provoz plynového kotle – spotřeba zemního plynu

	Spotřeba zemního plynu [kWh]
leden	26 651
únor	9 768
březen	14 380
duben	0
květen	0
červen	0
červenec	0
srpen	0
září	0
říjen	0
listopad	3 184
prosinec	23 537
<b>celkem</b>	<b>77 520</b>



Graf 6-4: Roční provoz plynového kotle - spotřeba zemního plynu

## 7 Průběh spotřeby elektřiny a TUV v penzionu

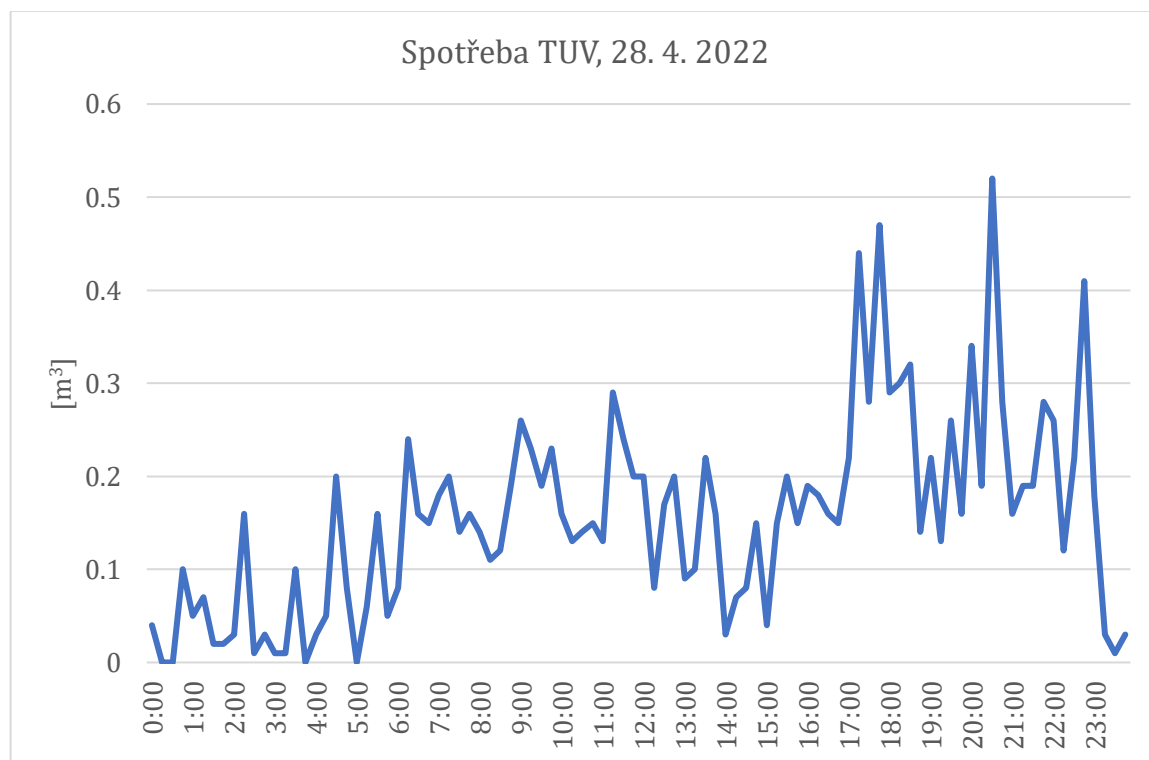
V rámci návrhu fotovoltaické elektrárny proběhlo v penzionu měření průběhu dodávky elektřiny z vnější sítě a spotřeby TUV. Navržená fotovoltaická elektrárna by mohla v určitých měsících vyrobit více elektrické energie, než je potřeba, a proto je měřen právě i průběh spotřeby TUV. Případné přebytky elektřiny by tak bylo možné využít například pro ohřev teplé vody v zásobnících, které jsou v kotelně k dispozici. Měření toků energií se konalo celkem třikrát, a to jednou ve všední den a dvakrát o víkendu. První měření se konalo o víkendu dne 12. 3. 2022, druhé ve všední den 28. 4. 2022 a poslední opět o víkendu dne 21. 10. 2022. Celé měření trvalo 24 hodin, aby bylo možné vyhodnotit průběh spotřeby po celý den včetně noci.

Měření probíhalo formou odečtů z elektroměrů a vodoměru. Stavby elektroměrů a vodoměru byly v pravidelných 15minutových intervalech opisovány do tabulky a následně po 24 hodinách měření byla získaná data vyhodnocena. Tato data jsou k dispozici v příloze 1.

Celkovou denní spotřebu elektrické energie v penzionu tvoří dvě složky – odběr z vnější sítě a odběr z kogeneračních jednotek.

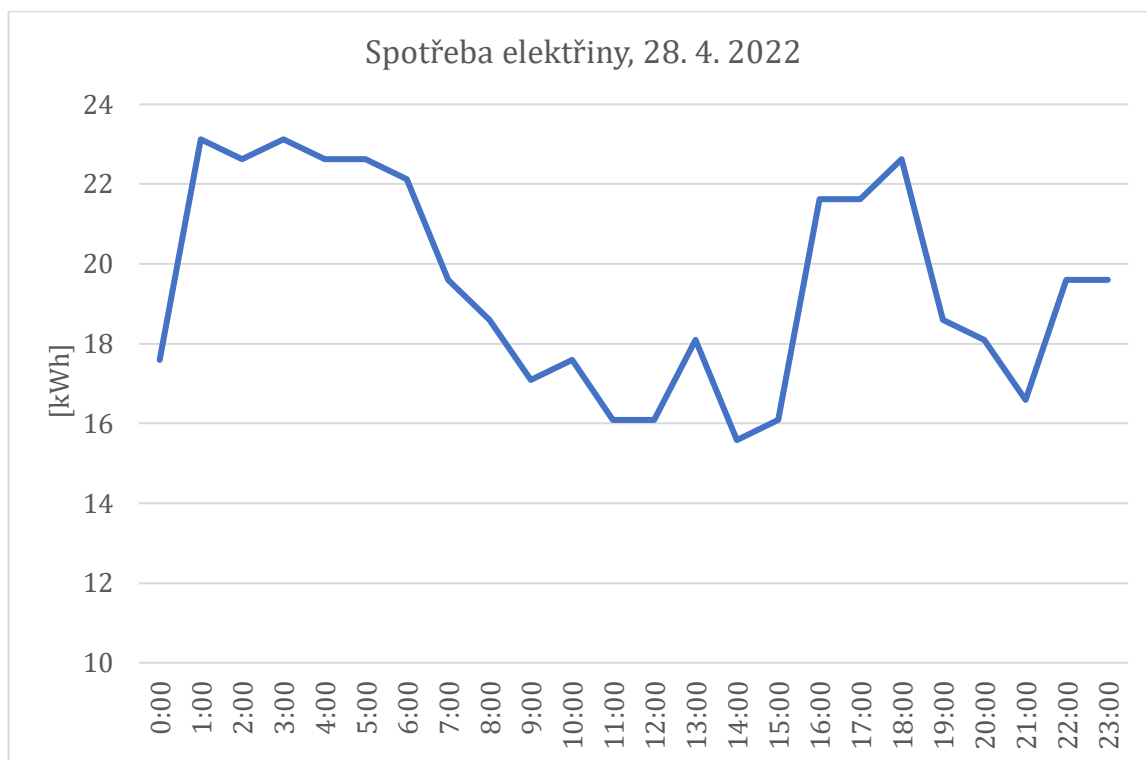
### 7.1 Všední den, 28. 4. 2022

Měření všedního dne se konalo ve čtvrtek 28. dubna 2022 od 00:00 do 00:00 následujícího dne.



Graf 7-1: Spotřeba TUV, 28. 4. 2022

Nárůst odběru TUV viditelný v grafu 7-1 začal v ranních hodinách, v 5:00, kdy vstali první nájemníci, které tvoří ve většině personál z blízké nemocnice. Špička odběru TUV je zřejmá v odpoledních a večerních hodinách od 16:30 do 20:00. V tuto dobu se ubytovaní vrátili z práce a sprchovali se, mohli mýt nádobí apod. Odběr TUV se pohyboval od 0 m<sup>3</sup> do 0,46 m<sup>3</sup>.

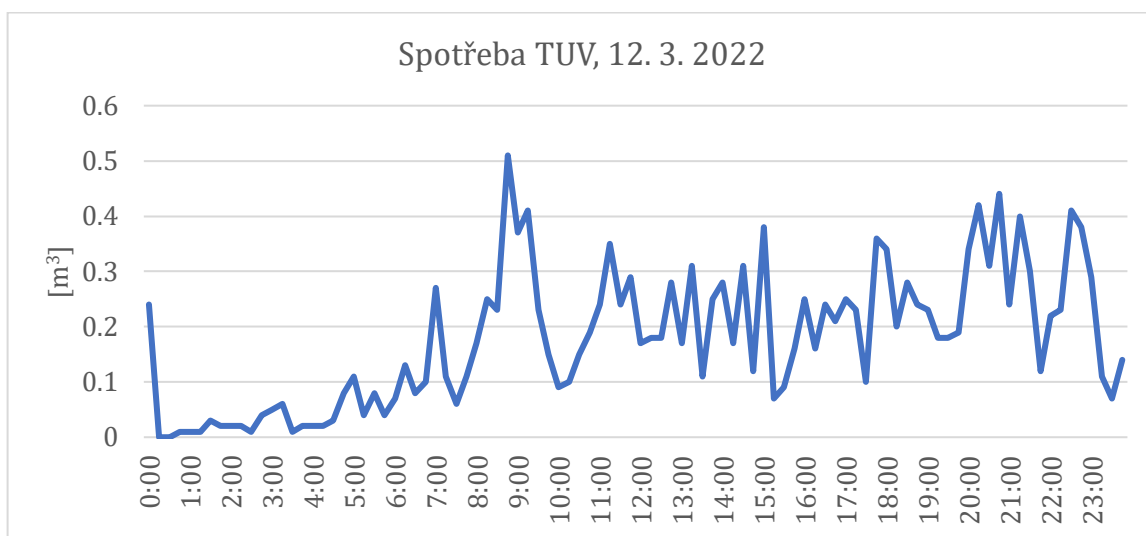


Graf 7-2: Spotřeba elektřiny, 28. 4. 2022

Na grafu 7-2 je možné vidět, že nejvíce elektřiny bylo spotřebováno kolem 18:00, a to 22,5 kWh a v noci od 01:00 do 06:00, kdy bylo spotřebováno dohromady přes 110 kWh. Odpolední odběr byl daný příchodem ubytovaných z práce, noční špičkový odběr mohlo ovlivňovat nabíjení elektronických zařízení ubytovaných apod.

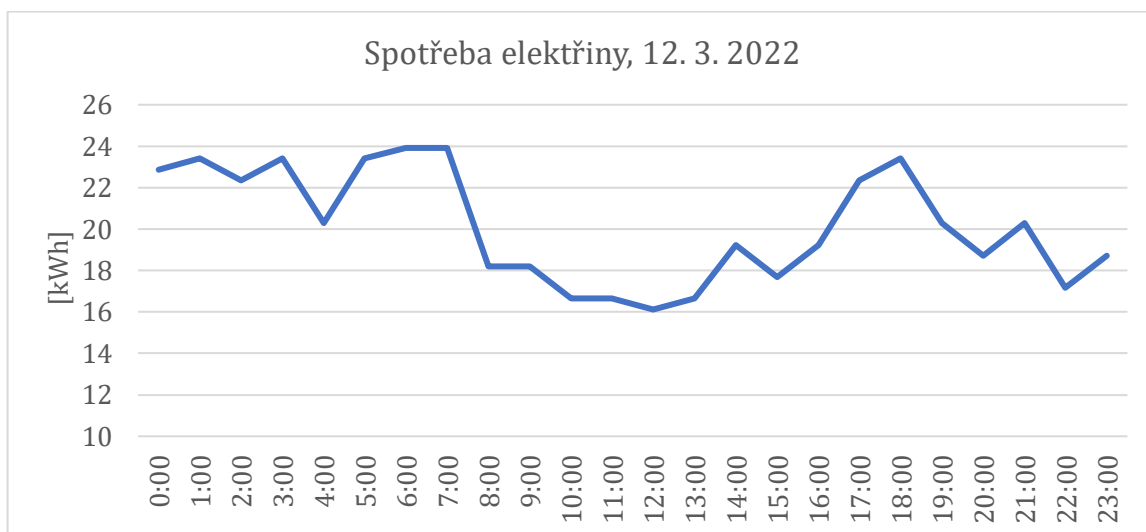
## 7.2 Víkend, 12. 3. 2022

Měření víkendového dne proběhlo v sobotu 12.3.2022 od 0:00 do 0:00 následujícího dne.



Graf 7-3: Spotřeba TUV, 12. 3. 2022

Největší spotřeba TUV byla zaznamenána v 8:45, a to 0,51 m<sup>3</sup>, což je možné vidět na grafu 7-3. Spotřeba TUV se pak snížila na 0,33 m<sup>3</sup> a přibližně setrvala na této hodnotě až do 23:00. Oproti všednímu dni je zde vidět mírný posun začátku ranní špičky do pozdějších hodin, z 5:00 na 7:00.



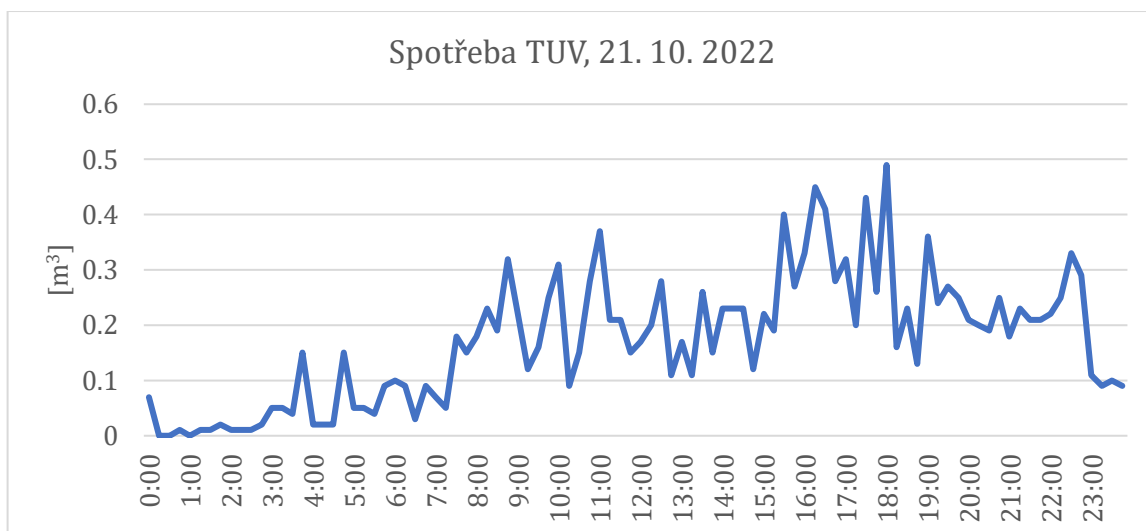
Graf 7-4: Spotřeba elektřiny, 12. 3. 2022

V grafu 7-4 je možné vidět spotřebu elektřiny o víkendovém dni. Maximální spotřeba elektřiny v tomto dni dosáhla 24 kWh ráno v 6:00. Po zbytek měřeného úseku kolísala spotřeba mezi 16 kWh až 20 kWh. V 18:00 dosáhla spotřeba elektřiny 23 kWh. Největší spotřeba elektřiny je stejně jako při měření všedního dne zjevná v nočních hodinách a v odpoledních hodinách.

### 7.3 Víkend, 21. 10. 2022

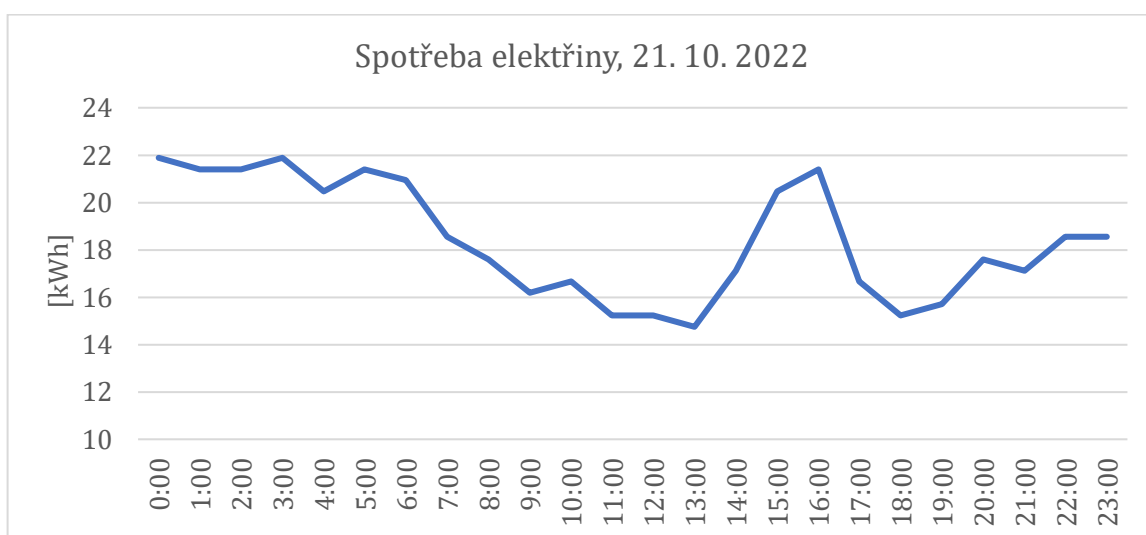
Poslední měření se konalo 21. 10. 2022 od 0:00 do 0:00 následujícího dne.

Grafy 7-5 a 7-6 ukazují, jaký byl průběh měřených veličin o víkendovém podzimním dnu.



Graf 7-5: Spotřeba TUV, 21. 10. 2022

Průběh spotřeby TUV na grafu 7-5 je velmi podobný naměřeným hodnotám z 12. 3. 2022 a 28. 4. 2022. Maximální spotřeba TUV 0,49 m<sup>3</sup> byla zřejmá opět v odpoledních hodinách. Spotřeba TUV po většinu dne kolísala mezi 0,1 a 0,35 m<sup>3</sup>.

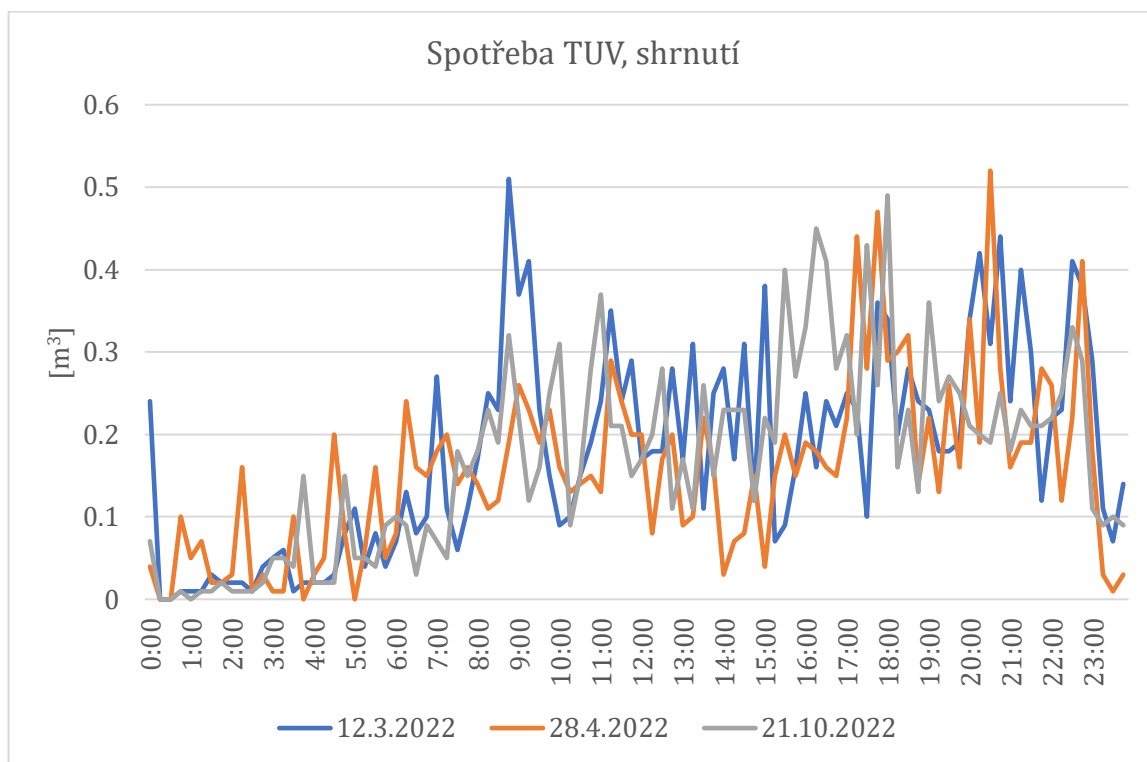


Graf 7-6: Spotřeba elektřiny, 21. 10. 2022

Na grafu 7-6 s celkovou spotřebou elektřiny v říjnovém víkendovém dni je nejvíce zřetelná odběrová špička od 15:00 do 17:30, která mohla být způsobena příchodem ubytovaných ze zaměstnání.

## 7.4 Shrnutí naměřených dat

Na následujících grafech 7-7 a 7-8 se nachází porovnání všech naměřených dat energetických toků v penzionu. Shrnutí a porovnání je uvedeno z toho důvodu, aby bylo možné vypořádat trend v průběhu spotřeby TUV a spotřeby elektřiny v průběhu dne a odvodit tak jejich průběh v dalších měsících roku.



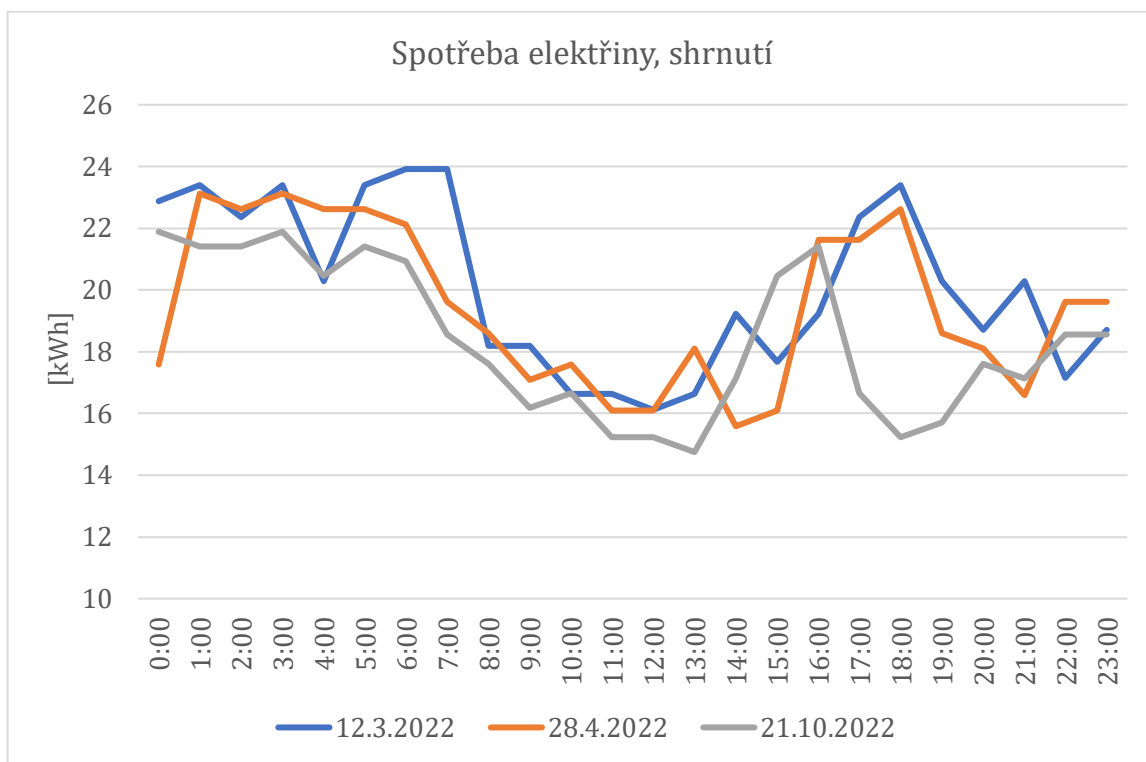
Graf 7-7: Spotřeba TUV, shrnutí

Na grafu 7-7 je možné zpozorovat, že průběh spotřeby TUV je pro všechny dny měření velmi podobný. V nočních hodinách od 0:00 do 04:00 je spotřeba TUV minimální, pohybuje se průměrně na hodnotě 0,03 m<sup>3</sup>. Poté od 05:00 nastává nárůst spotřeby, který vrcholí mezi 08:00 až 09:30 a činí průměrně 0,23 m<sup>3</sup>. Pokles spotřeby před večerní špičkou je ustálen na objemu 0,18 m<sup>3</sup>. Večerní špička dosahuje spotřeby až 0,52 m<sup>3</sup>, průměrně pak 0,27 m<sup>3</sup>. Spotřeba TUV poté postupně klesá až k 0,01 m<sup>3</sup>.

Na základě tohoto grafu je možné stanovit, že na spotřebu TUV má den v týdnu, nebo měsíc v roce, pouze minimální vliv.



Graf 7-8 ukazuje shrnutí naměřených dat celkové spotřeby elektrické energie pro všechny 3 dny měření.



Graf 7-8: Spotřeba elektřiny, shrnutí

Zatímco u spotřeby TUV je průběh v měřených měsících v roce takřka identický, v průběhu odběru elektřiny z vnější sítě je patrný rozdíl. Všechny měřené měsíce mají však společnou odpolední odběrovou špičku a noční odběrovou špičku.

## 7.5 Simulace denního průběhu spotřeby elektřiny

Jelikož nebylo možné měřit v penzionu denní průběh spotřebované elektřiny v každém měsíci roku, bylo nutné na základě naměřených denních průběhů spotřeb nasimulovat i průběhy spotřeb v dalších měsících roku.

Z hlediska návrhu fotovoltaické elektrárny jsou klíčové přechodné a letní měsíce, květen až září. Postup simulace průběhu spotřeby elektrické energie je předveden pro měsíc červenec, tedy měsíc, kdy fotovoltaická elektrárna vyrobí nejvíce elektrické energie.

### 7.5.1 Průměrný červencový den

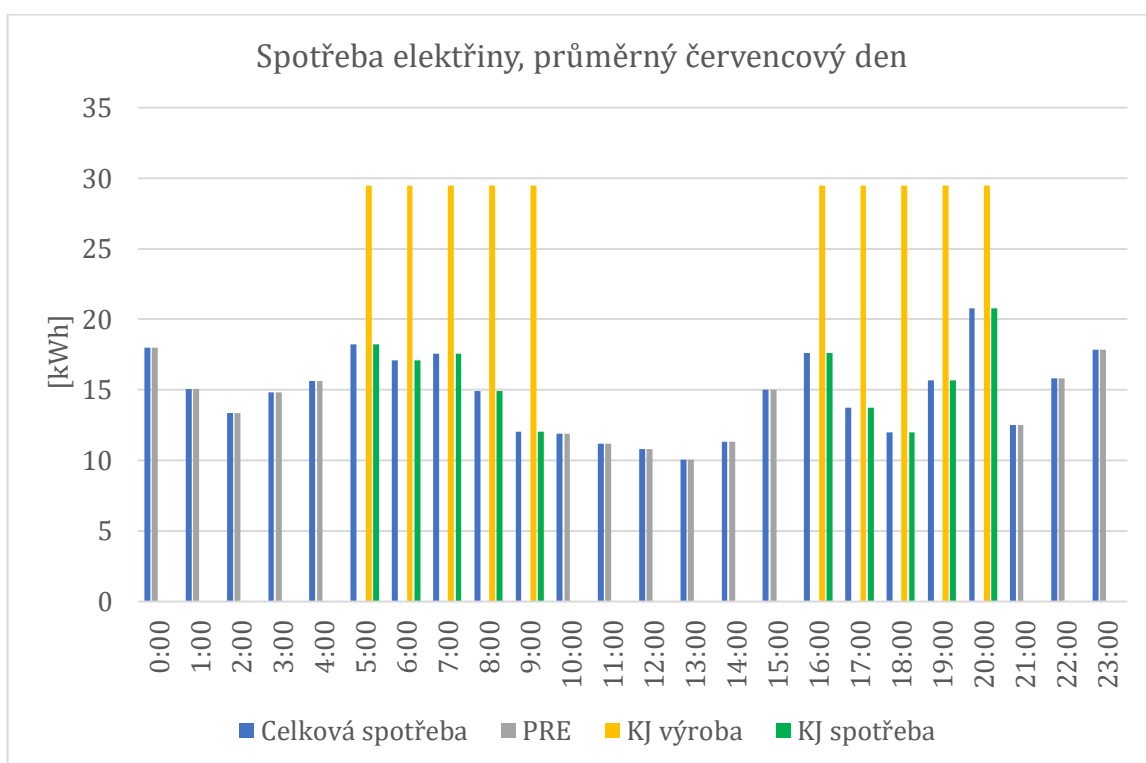
Na základě dat poskytnutých od majitelů penzionu o měsíčním odběru elektřiny z vnější sítě v tabulce 6-1 bylo možné vypočítat průměrné množství odebrané elektřiny za jeden den v daném měsíci.

Za jeden červencový den v roce 2022 bylo průměrně odebráno 193 kWh elektrické energie z vnější sítě a 160 kWh elektrické energie z kogeneračních jednotek. Celkem tedy bylo za jeden den spotřebováno 353 kWh elektrické energie.

Na základě naměřených denních dat o celkové spotřebě elektrické energie byl odhadnut červencový průběh spotřeby elektrické energie. Poté byly jednotlivé hodinové spotřeby rozpočítány tak, aby celková spotřeba činila právě 353 kWh.

V červenci byla v provozu jedna kogenerační jednotka, a to přibližně 10 hodin denně. Průběh spotřeby TUV ukazuje, v jakých hodinách je potřeba nejvíce TUV, tedy ráno a poté večer. Je velmi pravděpodobné, že kogenerační jednotka bude v provozu 5 hodin ráno tak, aby ohřála potřebnou TUV v zásobnících a poté až večer opět se stejným cílem, také 5 hodin.

Na grafu 7-9 je znázorněn nový denní průběh celkové spotřeby elektrické energie se zohledněním odběru elektřiny z vnější sítě a provozu kogenerační jednotky.



Graf 7-9: Spotřeba elektřiny, průměrný červencový den

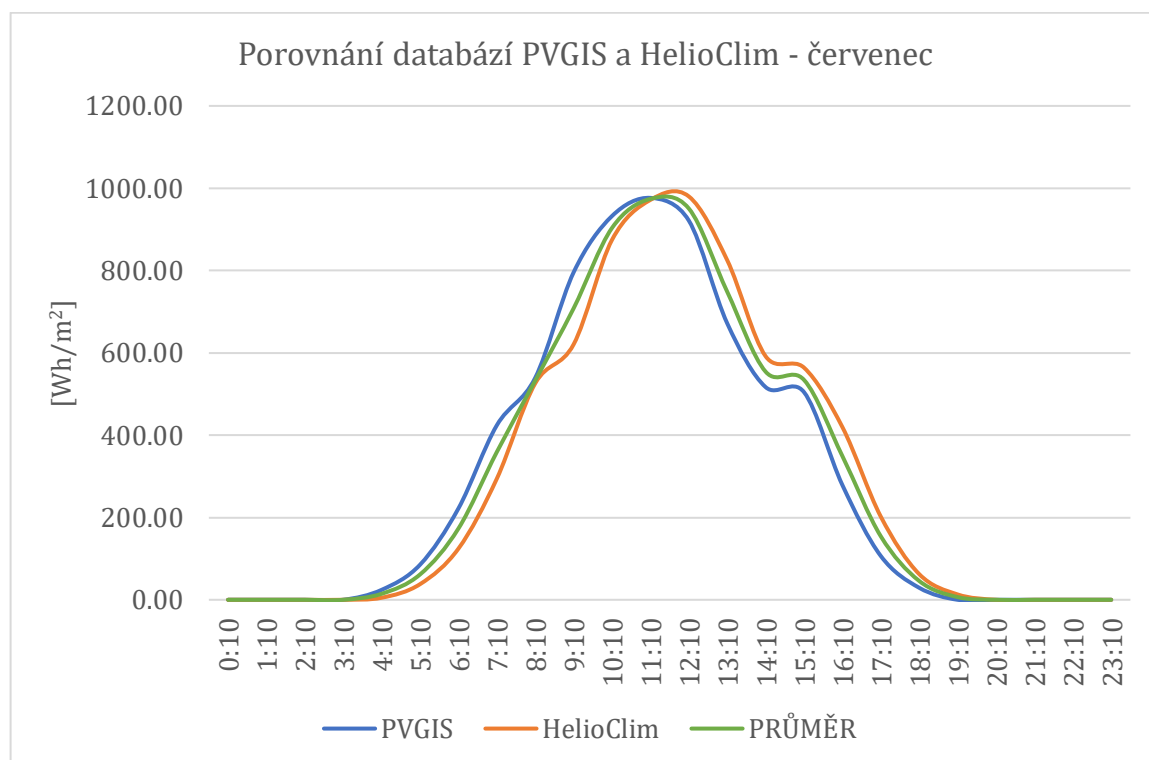
Na grafu 7-9 je šedou barvou znázorněn odběr elektřiny z vnější sítě, zeleně pak elektrická energie dodaná kogeneračními jednotkami, která je okamžitě spotřebována v penzionu. Žlutá barva značí, kolik elektrické energie celkem vyrobí kogenerační jednotky. Rozdíl mezi žlutou a zelenou křivkou je množství elektrické energie, která odchází do vnější sítě majiteli kogeneračních jednotek, OnSite Power. Modré sloupce pak shrnují celkovou spotřebu elektrické energie, tedy součet odebrané elektrické energie z vnější sítě a z kogeneračních jednotek.

## 8 Validace dat databází PVGIS a HelioClim

Porovnání dvou databází – PVGIS a HelioClim, jež obě poskytují hodinová data o slunečním záření, je provedeno z důvodu volby vhodné databáze a sjednocení vstupních dat, se kterými se v této práci pracuje.

### 8.1 Data o intenzitě celkové solární radiace

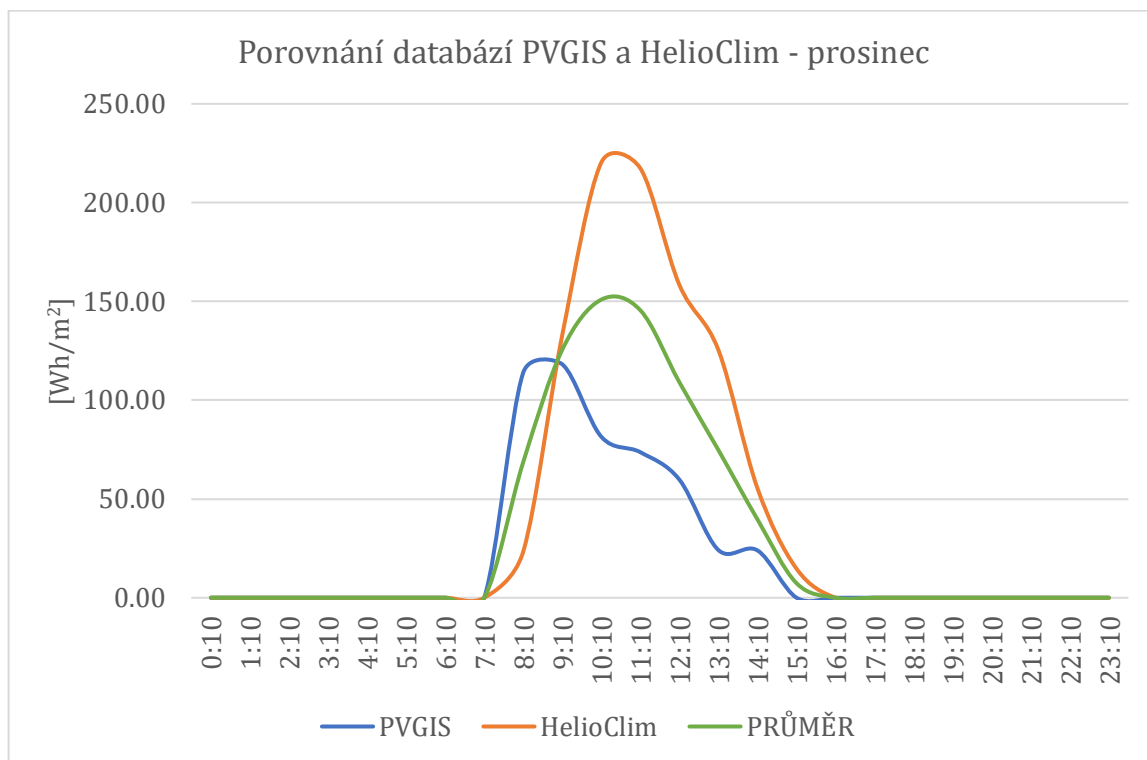
Výsledné grafy 8-1 a 8-2 byly sestaveny pro obě databáze na základě zprůměrovaných dat o intenzitě slunečního záření z 20., 21. a 22. dne daného měsíce, aby bylo možné vyloučit nepřesnosti, jež způsobuje například různý stupeň oblačnosti v průběhu dne. Obě databáze mají velmi podobný průběh intenzity celkové solární radiace. Odlišnost mezi databázemi může být dána především rozdílným zpracováním naměřených hodnot v průběhu daného dne, nebo také časovým posunem, kdy PVGIS dodává naměřené hodnoty v celou hodinu a deset minut a HelioClim vždy v celou hodinu. Pro názornost byly vybrány dva reprezentativní grafy, s nejpodobnějším průběhem a s největšími odchylkami.



Graf 8-1: Porovnání databází PVGIS a HelioClim - červenec

Graf 8-1 měsíce července reflektuje minimální rozdíl mezi jednotlivými databázemi. Modře je zobrazena databáze PVGIS, oranžově pak databáze HelioClim. Zelenou barvu má jejich společný průměr.

Graf 8-2 měsíce prosince má rozdíl mezi databázemi ze všech měsíců roku největší. Liší se i průběh intenzity solární radiace v průběhu dne. Křivka PVGIS ukazuje přesnější data, na nichž jsou zřetelné slabé nárůsty solární radiace v odpoledních hodinách.



Graf 8-2: Porovnání databází PVGIS a HelioClim - prosinec

V této práci se dále pracuje s databází PVGIS, jelikož data se zdají být přesnější a celý systém databáze je přehlednější.

## 9 Volba FV panelů

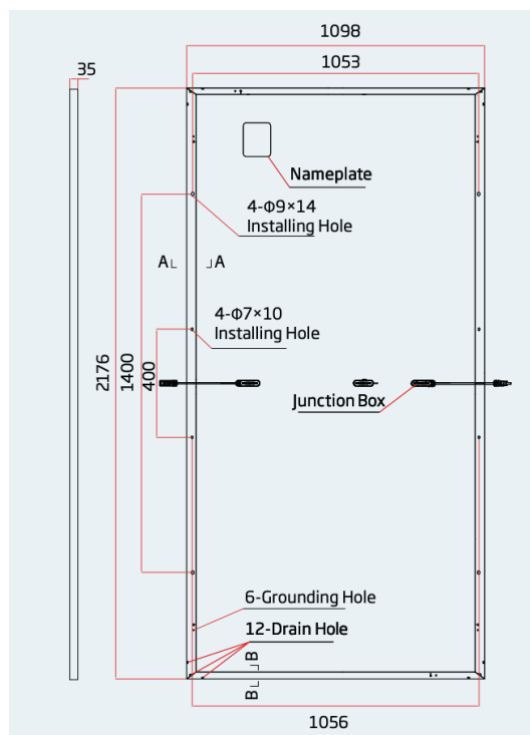
Při návrhu fotovoltaické elektrárny je počítáno s jedním typem panelů. Majitelé penzionu chtějí při budoucí realizaci fotovoltaické elektrárny spolupracovat s firmou Česká solární s.r.o., která pracuje především s následujícími fotovoltaickými panely.

### 9.1 Solární panely o výkonu 500 Wp

Pro návrh fotovoltaické elektrárny byly vybrány panely od firmy Vertex typu Trina Solar TSM-DE18M(II) o výkonu 500 Wp. Dle České solární s.r.o. jsou tyto panely velmi spolehlivé. Parametry a rozměry panelů ukazují obrázky 9-1 a 9-2.

Solar Cells	Monocrystalline
Cell Orientation	150 cells
Module Dimensions	2176 × 1098 × 35 mm (85.67 × 43.23 × 1.38 inches)
Weight	26.3 kg (58.0 lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant Material	EVA
Backsheet	White
Frame	35 mm (1.38 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated

Obrázek 9-1: Parametry vybraného solárního panelu [příloha 5]



Obrázek 9-2: Rozměry vybraného solárního panelu [příloha 5]

## 10 Návrhové varianty řešení

Volba rozložení panelů dle světových stran, jejich sklon a výkon je zásadní při návrhu fotovoltaické elektrárny. Je žádoucí, aby byla zajištěna co nejvyšší efektivita provozu. Kapitola 6 se zabývala konkrétním objektem, penzionem Chmelnice. Díky datům získaných od majitelů penzionu a výrobce kogeneračních jednotek bylo možné zjistit, s jakým nejmenším instalovaným výkonem fotovoltaické elektrárny bude třeba na střeše penzionu počítat. Na základě těchto dat bylo stanoveno, že fotovoltaická elektrárna by měla mít minimální instalovaný výkon 27 kWp.

V zájmu dosažení co možná největší energetické nezávislosti objektu, by bylo vhodné navrhnout fotovoltaickou elektrárnu takovou, aby bylo využito veškerého místa na střeše určeného pro instalaci fotovoltaické elektrárny. Z celkové výměry plochy střechy 1 185 m<sup>2</sup> je možné využít zhruba 350 m<sup>2</sup>. Pokud se vezme v úvahu běžný fotovoltaický panel o výkonu 500 Wp a o ploše přibližně 2,5 m<sup>2</sup>, je možné vypočítat maximální výkon fotovoltaické elektrárny, který je možný na střechu penzionu instalovat pomocí rovnice (10.1).

$$P_{max} = \frac{S_{max}}{S_{panel}} \cdot P_{panel} = \frac{350 \text{ m}^2}{2,5 \text{ m}^2} \cdot 500 \text{ Wp} = 70\,000 \text{ Wp} \quad (10.1)$$

Současný odběr elektřiny z vnější sítě tvoří pouze třetinu vypočteného maximálního výkonu fotovoltaické elektrárny. Pravděpodobnost, že by nové byty trojnásobně zvýšily současnou spotřebu elektřiny, je mizivá. Při aktuálním stavu řešení energetických toků v penzionu by spotřeba elektřiny v nových bytech byla pokryta dodávkami z vnější sítě.

V roce 2023 byla změněna legislativa České republiky, která ukládala provozovatelům FVE s výkonem nad 10 kWp povinnost vlastnit licenci a stavební povolení. Instalovaný výkon s povinností zřídit licenci se zvýšil na 50 kWp.

Před návrhem možných variant řešení fotovoltaické elektrárny je třeba zohlednit několik okrajových podmínek, některé z nich byly konzultovány s majiteli penzionu. První z podmínek je ponechat spodní část střechy penzionu nezastavěnou. Prostor spodní části střechy, kterou je možné vidět na obrázku 6-4, by sloužil jako terasa pro plánované byty. Další podmínkou je snaha o minimalizaci nadbytečných a časově náročných administrativních úkonů spojených se zřizováním licence a stavebního povolení. Poslední podmínkou je zohlednění smluvně stanovených minimálních

odběrů tepla z kogeneračních jednotek. Minimální odběr tepla ovlivňuje provoz kogeneračních jednotek převážně v letním období.

Po přihlédnutí ke dvěma stanoveným podmínkám je optimální volbou fotovoltaická elektrárna s instalovaným výkonem 49 kWp. Pro elektrárnu o takovém výkonu není potřeba licence, zároveň je dostatečně dimenzovaná s ohledem na případné zvýšení spotřeby elektrické energie, a to s dostatečnou rezervou. Podmínka minimálních odběrů tepla nemůže být zohledněna před samotným vyhodnocením jednotlivých variant, protože není možné odhadnout množství přebytků elektrické energie.

V kapitole 2.4 na obrázku 2-5 je možné vidět, jakým způsobem ovlivňuje sklon a orientace panelu jejich výkon. Nejen na základě dat z obrázku 2-5 byly vyhodnoceny 4 různé varianty řešení, které jsou v dalších podkapitolách detailněji popsány.

### 10.1 Varianta 1 a 2

Varianta označená číslem 1 počítá s panely rozloženými na 3 světové strany, východ, jih a západ, rovnoměrně. Třetina panelů směřuje na východ, třetina panelů na jih a poslední třetina panelů na západ. Panely jsou na ploché střeše instalovány s úhlem sklonu 10° a celkový výkon panelů je stanoven na 49 kWp.

Sklon panelů 10° není obvyklý, ale byl zvolen z několika důvodů. Hlavním důvodem nízkého sklonu panelů je fakt, že se jedná o výškovou budovu a fotovoltaická elektrárna bude instalovaná na její střeše. Nevhodné povětrnostní podmínky, jejichž výskyt je velmi pravděpodobný, by mohly negativně ovlivnit stabilitu panelů a konstrukční řešení opory panelů by bylo patrně složité a nákladné. Nižší sklon panelů také zajistí pro nájemníky nových luxusních bytů příjemnější výhled do okolí v případě, že by část panelů musela zasahovat do spodního patra střechy.

Varianta označená číslem 2 počítá se stejným sklonem a instalovaným výkonem, tedy 10° a 49 kWp, ale s rozdílným uspořádáním panelů. Panely jsou rozloženy tak, že jedna čtvrtina směřuje na východ, polovina na jih a čtvrtina panelů je nainstalovaná na západ.

$$n_{panel} = \frac{P_{inst.}}{P_{panel}} = \frac{49\,000\text{ Wp}}{500\text{ Wp}} = 98 [-] \quad (10.2)$$

Rovnice (10.2) udává počet panelů potřebných pro dosažení zvoleného instalovaného výkonu. Celkem tyto 2 varianty tvoří 98 kusů fotovoltaických panelů firmy Vertex typu Trina Solar TSM-DE18M(II) o výkonu 500 Wp. Celková plocha panelů zaujímá

235 m<sup>2</sup>. Pro další výpočty s těmito panely budu uvažovat průměrnou účinnost fotovoltaického modulu 20 %.

### 10.2 Varianta 3 a 4

Ve Variantě označené číslem 3 se počítá se sklonem panelů 35°, který je často v literatuře zmiňován jako optimální. Rozložení panelů je stejné jako ve Variantě 1, tedy po třetinách na východ, jih a západ. Výkon panelů je opět 49 kWp.

Varianta označená číslem 4 výkonem a rozložením panelů kopíruje Variantu 2, sklon panelů je shodný s Variantou 3. Panely jsou z jedné poloviny orientovány na jih, čtvrtina směřuje na východ a čtvrtina na západ, úhel sklonu je 35° a výkon 49 kWp.

Pro Varianty 3 a 4 bylo zvoleno 98 kusů fotovoltaických panelů firmy Vertex typu Trina Solar TSM-DE18M(II) o výkonu 500 Wp stejně jako ve Variantách 1 a 2. Panely zabírají plochu 235 m<sup>2</sup>. Pro další výpočty s těmito panely je uvažována shodná účinnost fotovoltaického modulu, 20 %.

Tyto dvě Varianty 3 a 4 jsou počítány především z toho důvodu, aby bylo možné zjistit, jak ovlivní nižší sklon panelů celkový výkon fotovoltaické elektrárny oproti ideálnímu sklonu panelů.

### 10.3 Shrnutí jednotlivých variant

Všechny 4 varianty jsou shrnuty v tabulce 10-1.

Tabulka 10-1: Shrnutí variant řešení 1-4

Sklon panelů Rozložení panelů	10°	35°
	1/4 V x 1/2 J x 1/4 Z	Varianta 2
1/3 V x 1/3 J x 1/3 Z	Varianta 1	Varianta 3



## 11 Výpočet a návrh fotovoltaické elektrárny

V kapitole 11 je uveden postup výpočtu a návrh fotovoltaické elektrárny. Výpočet je proveden pro všechny 4 varianty a pro každý měsíc roku. Pro příklad je popsán výpočet pro měsíc červenec. Výsledky ostatních měsíců jsou shrnuty v příloze 2.

Úhrn elektrické energie z FVE je vypočten dle rovnice (11.1).

$$E_{FVE} = S_{panel} \cdot G \cdot \eta_{FV}, \quad (11.1)$$

Výsledný zisk elektrické energie je součinem plochy fotovoltaických panelů, intenzity solárního záření na plochu a účinnosti panelu. Intenzita solárního záření je stanovena databází PVGIS, a to průměrem všech dní daného měsíce z let 2005 – 2020. Plocha panelů je odlišná pro jednotlivé varianty řešení.

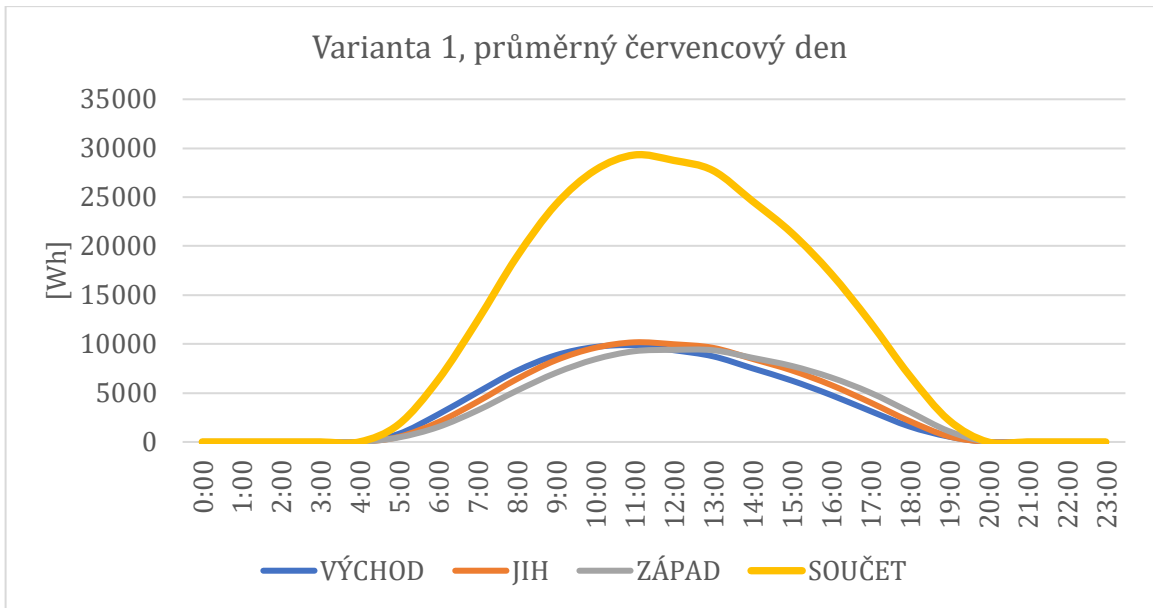
## 11.1 Metodika výpočtu

Pro každý měsíc v roce byly nejprve pomocí databáze PVGIS zjištěny průměrné hodnoty intenzity slunečního záření pro daný sklon a danou orientaci panelů. Protože nejsou klimatické podmínky každý rok identické, byly zpracovány průměrné hodnoty intenzity slunečního záření z let 2005 až 2020, což je maximální možné rozmezí let a dat, které databáze PVGIS obsahuje. V tabulce 11-1 jsou data shrnuta.

Tabulka 11-1: Červenec - intenzita solárního záření

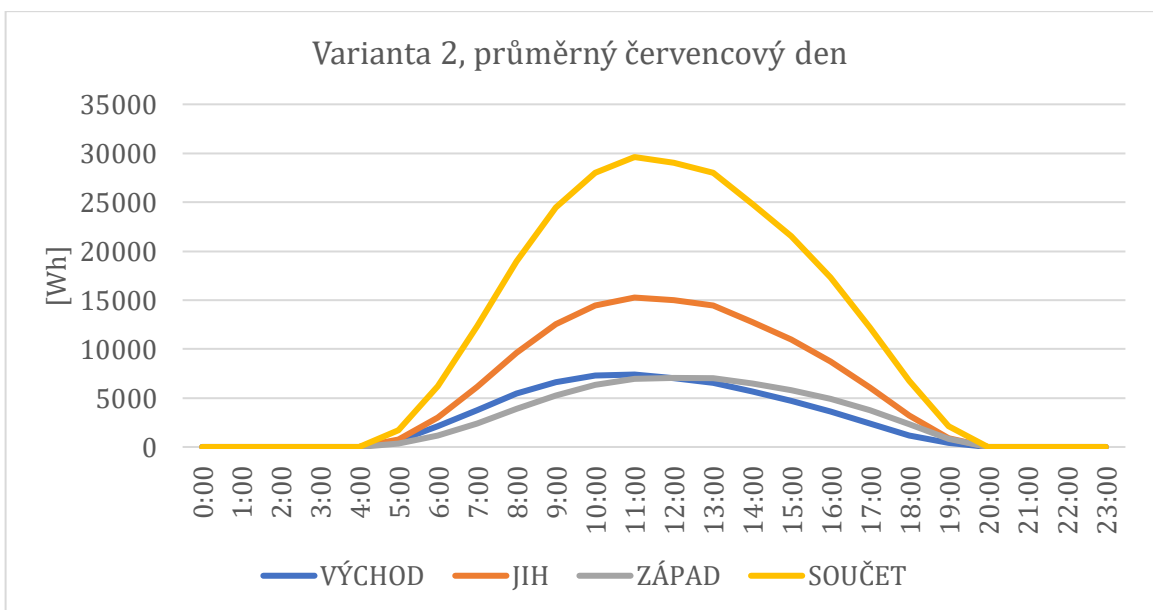
Červenec – intenzita solárního záření G [Wh/m <sup>2</sup> ]						
Sklon panelů	10°			35°		
Orientace panelů	Východ	Jih	Západ	Východ	Jih	Západ
0:00	0	0	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0
5:00	53	33	29	80	26	26
6:00	179	128	97	260	92	71
7:00	324	262	205	432	228	114
8:00	464	410	334	570	391	147
9:00	567	534	452	642	534	261
10:00	621	616	541	648	630	383
11:00	632	652	594	608	673	481
12:00	600	639	603	532	660	539
13:00	560	616	600	451	634	582
14:00	482	544	551	348	552	574
15:00	402	469	498	243	464	559
16:00	308	373	423	149	353	516
17:00	203	259	323	117	223	434
18:00	102	137	198	77	94	294
19:00	35	37	71	31	31	120
20:00	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0
<b>celkem</b>	<b>5 533</b>	<b>5 711</b>	<b>5 519</b>	<b>5 188</b>	<b>5 587</b>	<b>5 102</b>

Následně byl vypočítán zisk elektrické energie z fotovoltaické elektrárny pro všechny vymezené varianty podle rovnice (11.1). Výsledky všech 4 variant jsou zobrazeny na grafech 11-1 až 11-4.



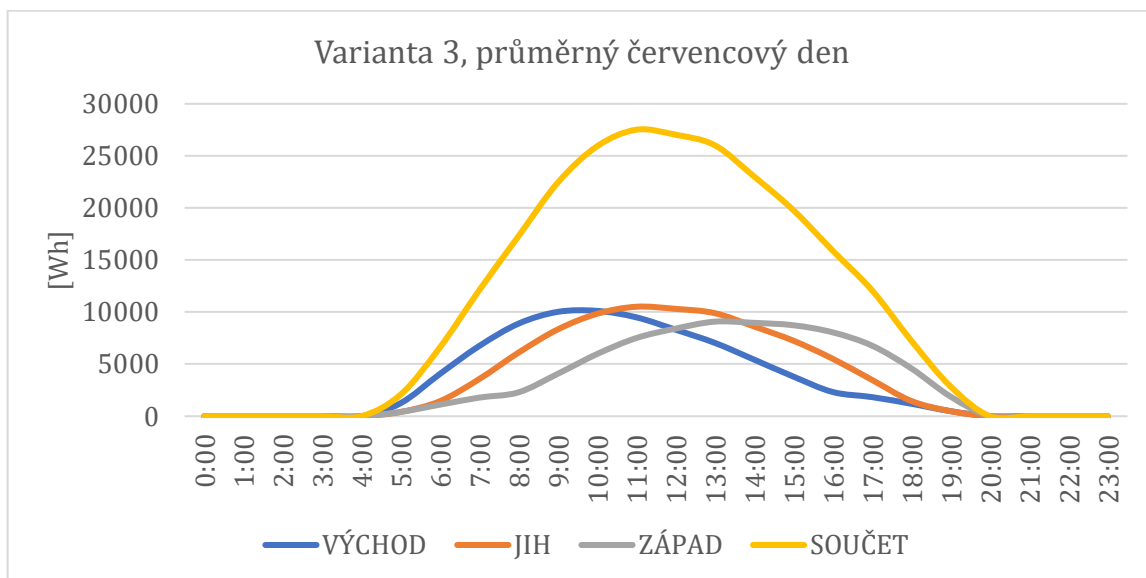
Graf 11-1: Varianta 1, průměrný červencový den

Ve Variantě 1 na grafu 11-1 je maximum elektrické energie z fotovoltaické elektrárny získáno v 11:00, a to 29 310 Wh. Na modré, oranžové a šedé křivce je možné rozpoznat rozložení celkové plochy panelů po třetinách na východ, jih a západ. Průběhy křivek jsou takřka shodné, maximálních hodnot je však dosaženo postupně podle pohybu Slunce po obloze, od východu po západ. Žlutá křivka je celkovým součtem východní, jižní a západní orientace.



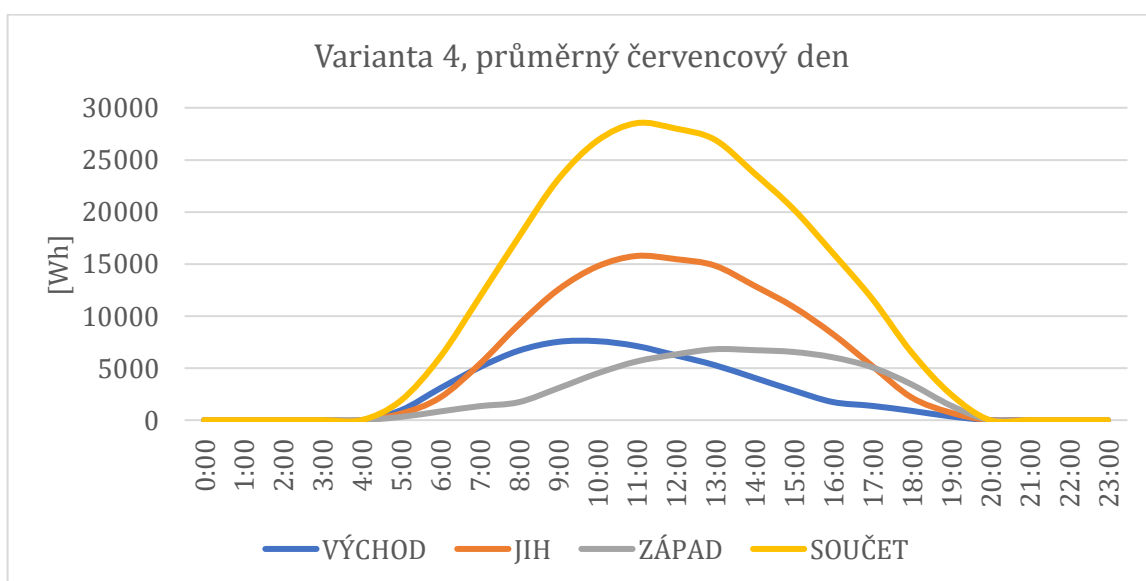
Graf 11-2: Varianta 2, průměrný červencový den

Ve Variantě 2 na grafu 11-2 dosahuje fotovoltaická elektrárna maximálního zisku elektrické energie 29 615 Wh v 11:00. Mezi modrou, oranžovou a šedou křivkou značící orientaci panelů je zřetelná dominance panelů orientovaných na jih, protože jižní panely tvoří polovinu celkové plochy.



Graf 11-3: Varianta 3, průměrný červencový den

Ve Variantě 3 v grafu 11-3 lze maxima východní, jižní a západní části rozeznat jednodušeji než ve Variantě 1 na grafu 11-1, což je dáno odlišným sklonem panelů. Na žluté křivce je možné vidět nejvyšší získané množství elektrické energie z fotovoltaické elektrárny, a to 27 515 Wh v 11:00, což je téměř o 1 800 Wh nižší než ve Variantě 1.

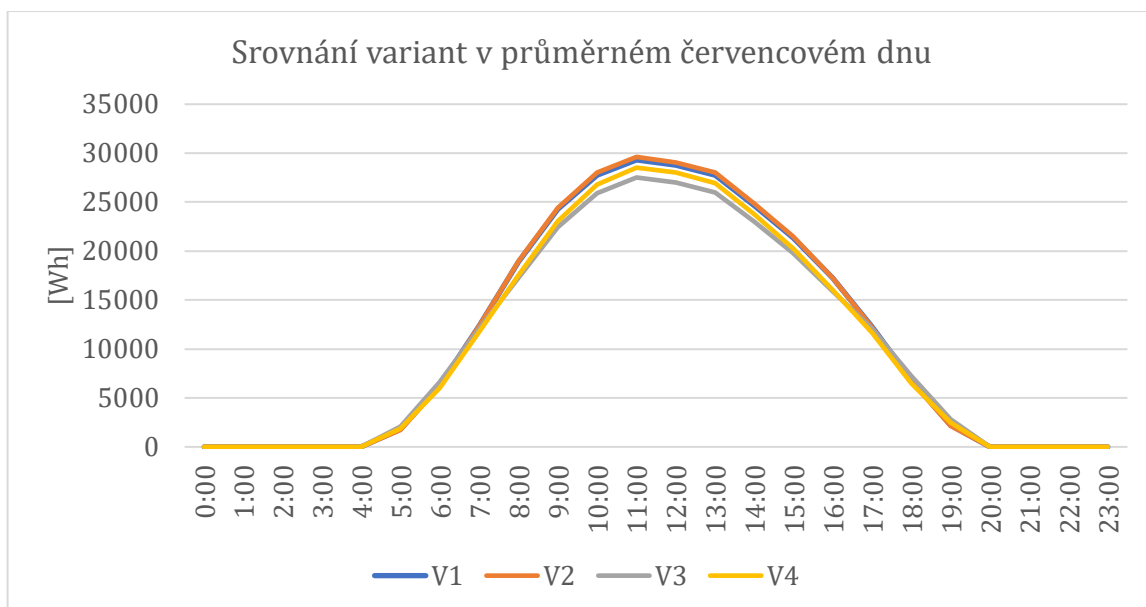


Graf 11-4: Varianta 4, průměrný červencový den

Varianta 4 na grafu 11-4 nabývá svého maxima 28 520 Wh v 11:00.

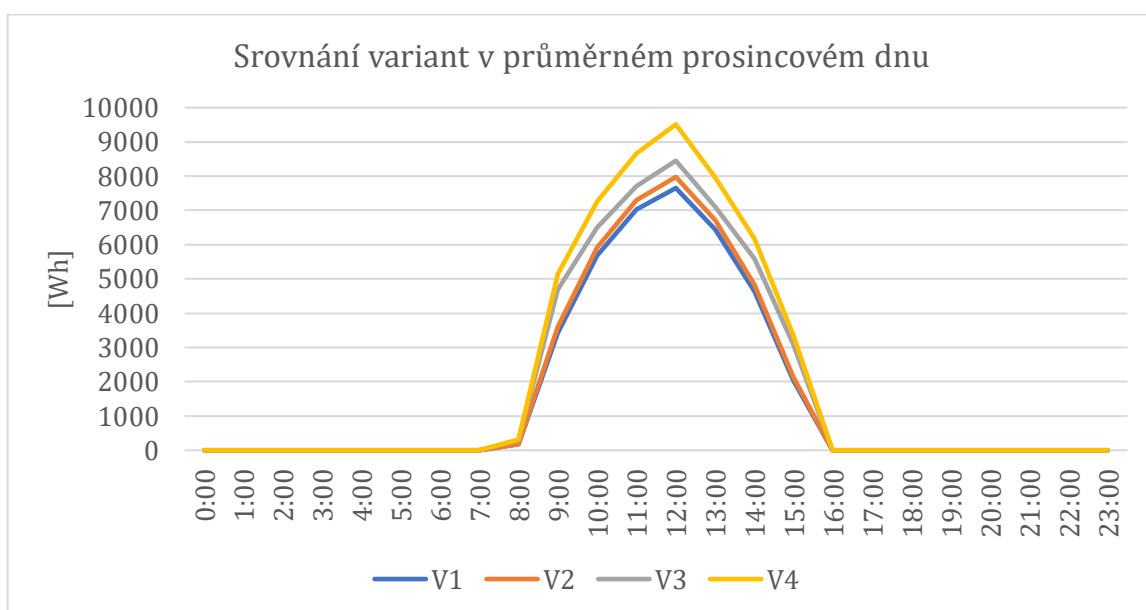
## 11.2 Porovnání variant řešení

V následujících dvou grafech 11-5 a 11-6 je ukázán rozdíl v průběhu dodávky elektrické energie z FVE jednotlivých variant v letním a v zimním období. Ostatní měsíce roku jsou k dispozici v příloze 3.



Graf 11-5: Srovnání variant v průměrném červencovém dnu

V červenci nabývá nejvyšších zisků elektrické energie Varianta 2, a to 29 615 kWh. Téměř shodný maximální zisk vynáší i Varianta 1. Nižších zisků elektrické energie, přibližně o 1 100 Wh, dosahuje Varianta 3. Nejhuře vychází Varianta 3, jejíž maximum je o 2 100 Wh nižší než maximum Varianty 2.



Graf 11-6: Srovnání variant v průměrném prosincovém dnu

V prosinci vychází pořadí variant řešení opačně než v červenci. Nejlépe vychází Varianta 4 se ziskem 9 512 Wh. Nejnižší maximum pak zastává Varianta 1, a to 7 654 Wh. Rozdíl mezi ziskově nejlepší a nejhorší variantou je přibližně stejný jako pro červencové porovnání.

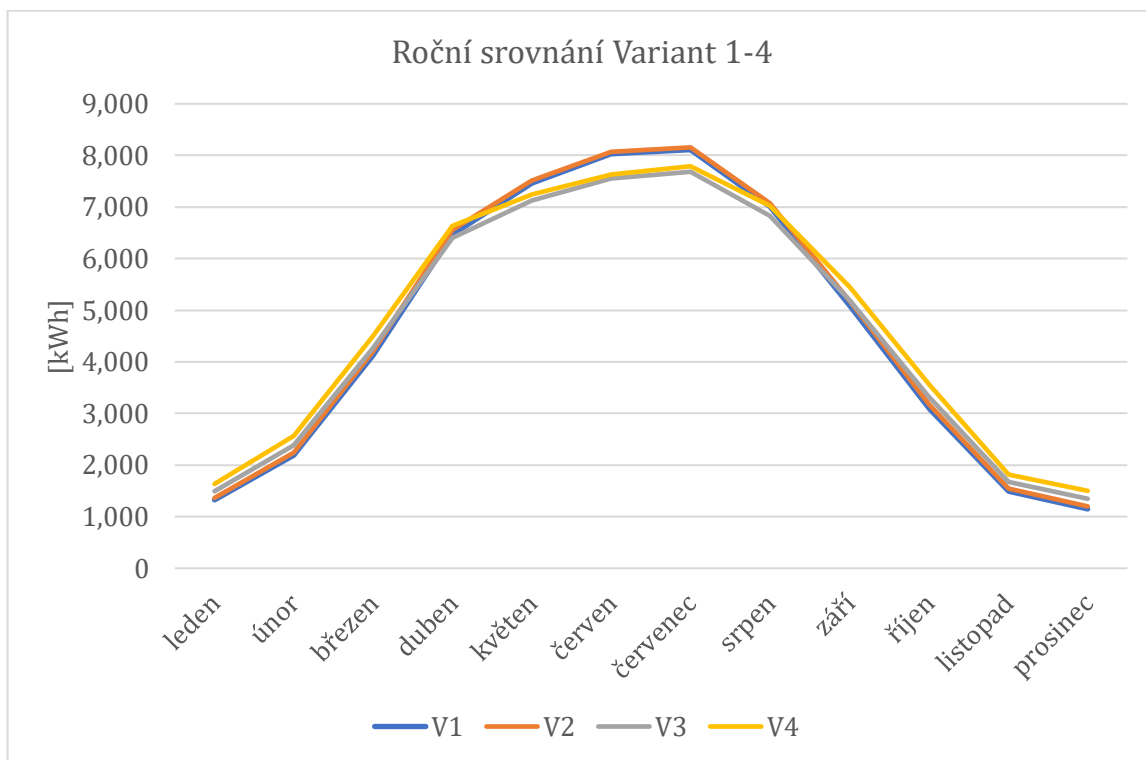
Při srovnávání variant bylo zjištěno, že od května do srpna poskytuje největší zisky elektrické energie Varianta 2. Naopak od září do dubna dodává nejvíce elektrické energie Varianta 4, a to velmi výrazně. To je možné vysvětlit sklonem zemské osy. V zimním období je severní polokoule od Slunce odvrácena a Slunce tak nad obzor nevystoupá do stejné výšky jako v letním období. Panely s větším sklonem ve Variantě 4 tak dokážou v zimním období zachytit více slunečního záření, čímž dosáhnou vyššího výkonu.

V tabulce 11-2 se nachází shrnutí měsíčních zisků elektrické energie z fotovoltaických elektráren jednotlivých variant. V grafu 11-7 je pak možné vidět rozdíl mezi pořadím variant od května do září a od října do dubna.

Tabulka 11-2: Celkový zisk elektrické energie Variant 1-4

Celkový zisk elektrické energie [kWh]				
	V1	V2	V3	V4
leden	1 318	1 366	1 490	1 635
únor	2 185	2 248	2 380	2 567
březen	4 127	4 208	4 274	4 502
duben	6 473	6 557	6 404	6 630
květen	7 467	7 517	7 127	7 248
červen	8 033	8 070	7 551	7 637
červenec	8 111	8 156	7 683	7 790
srpen	7 005	7 078	6 829	7 018
září	5 084	5 175	5 194	5 448
říjen	3 090	3 172	3 320	3 560
listopad	1 495	1 546	1 669	1 822
prosinec	1 149	1 199	1 347	1 500
<b>celkem</b>	<b>55 536</b>	<b>56 293</b>	<b>55 268</b>	<b>57 357</b>

Na grafu 11-7 je modře znázorněna Varianta 1, oranžově Varianta 2, šedou barvu zaujímá Varianta 3 a žlutou Varianta 4.



Graf 11-7: Roční srovnání Variant 1-4

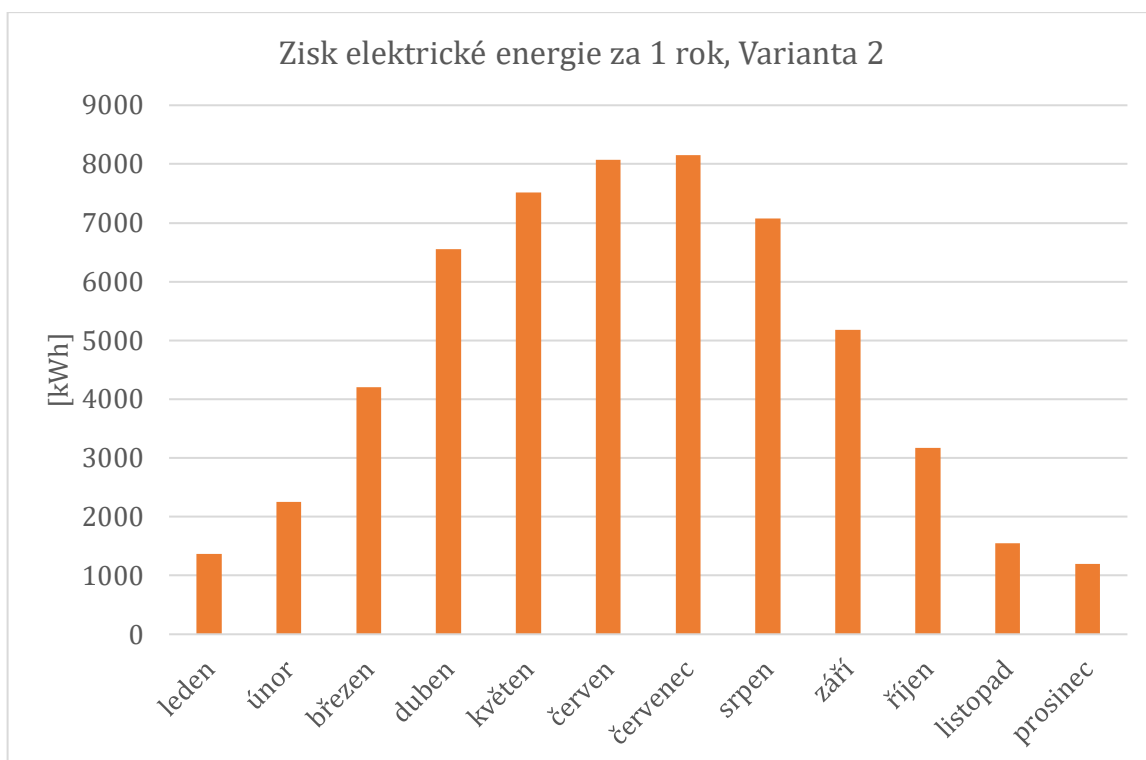
### 11.3 Volba vhodné varianty

Optimálním řešením fotovoltaické elektrárny pro penzion Chmelnice je Varianta 2, a to z několika důvodů.

Varianta 2 poskytuje nejvíce elektrické energie v měsících od května do září. Tyto měsíce jsou klíčové pro návrh fotovoltaické elektrárny, protože v penzionu je v tuto dobu v provozu pouze jedna kogenerační jednotka, která dodává elektrickou energii jen po několik málo hodin denně. Ve zbytku dne musí penzion odebírat elektřinu z vnější sítě. Maximální zisky elektrické energie z fotovoltaické elektrárny by tak měly znamenat větší úsporu peněz.

Dalším důvodem, proč je zvolena právě Varianta 2, je sklon panelů. Fotovoltaická elektrárna bude umístěna na nejvyšším místě celé budovy, na přistavěném patře na střeše. Nižší sklon panelů zajistí alespoň částečnou ochranu fotovoltaických panelů před nevhodnými povětrnostními podmínkami, jejichž výskyt je na střeše penzionu velmi pravděpodobný. Nosná konstrukce panelů s nízkým sklonem zároveň sníží celkovou počáteční investici do projektu.

Celkovou vyrobenou elektrickou energii z fotovoltaické elektrárny za celý rok znázorňuje sloupcový graf 11-8.



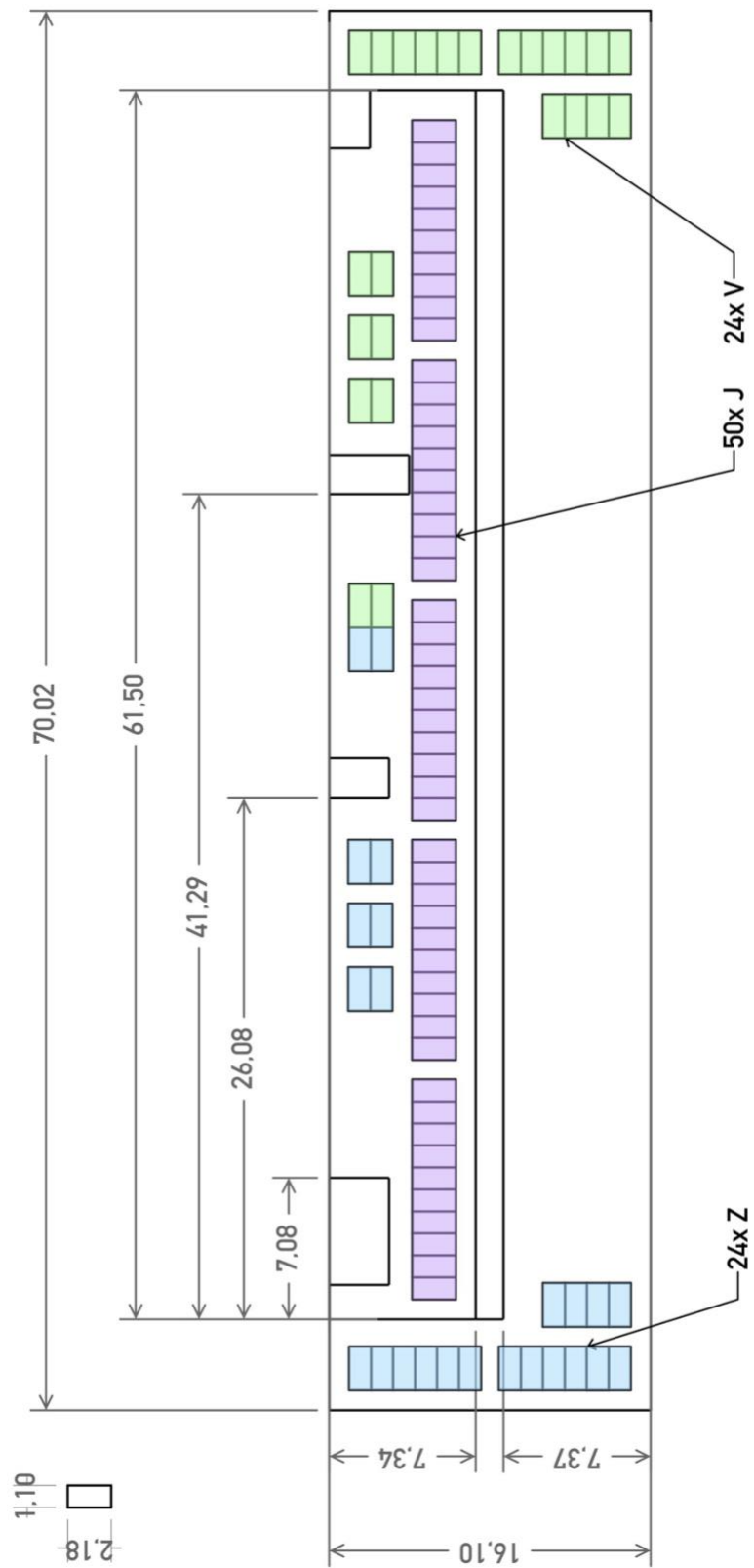
Graf 11-8: Zisk elektrické energie za 1 rok, Varianta 2

#### 11.4 Návrh rozložení FV panelů na střeše penzionu

S ohledem na plány majitelů penzionu je preferováno, aby většina solárních panelů byla umístěna na přistaveném patře na střeše a spodní část zůstala, pokud to bude možné, dostupná budoucím nájemníkům plánovaných bytů jako terasa a prostor pro rekreaci.

Na obrázku 11-1 jsou fialově znázorněny panely orientované směrem na jih. Všechny 50 panelů bude instalováno na vrchní části střechy. Panely orientované na východ mají zelenou barvu, 8 panelů se nainstaluje na vrchní část střechy, zbývajících 16 panelů pak na spodní pravou část střechy. Panely směřované na západ budou instalovány zrcadlově k těm východním, opět v počtu 8 panelů na vrchní části a 16 panelů na spodní levé části střechy. Rozměry střechy a panelu jsou vyjádřeny v metrech.

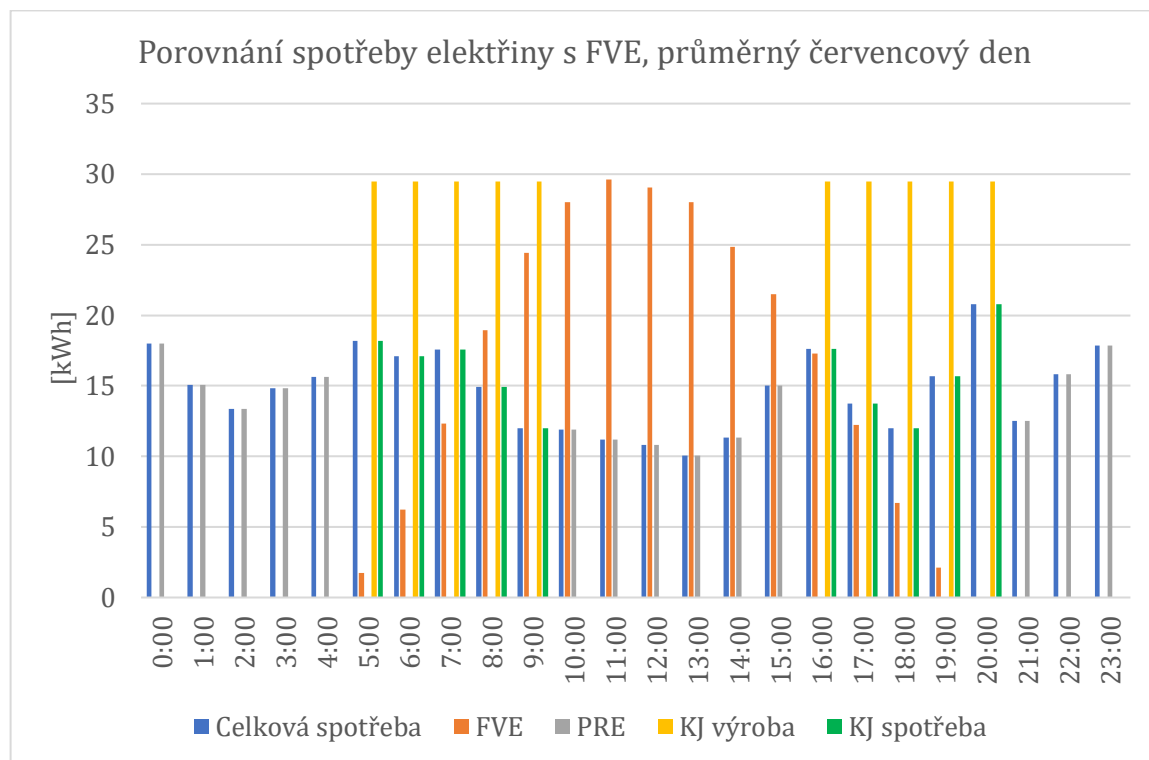




Obrázek 11-1: Návrh rozložení FV panelů na střeše penzionu Chmelnice

## 12 Porovnání FVE se spotřebou elektřiny v penzionu

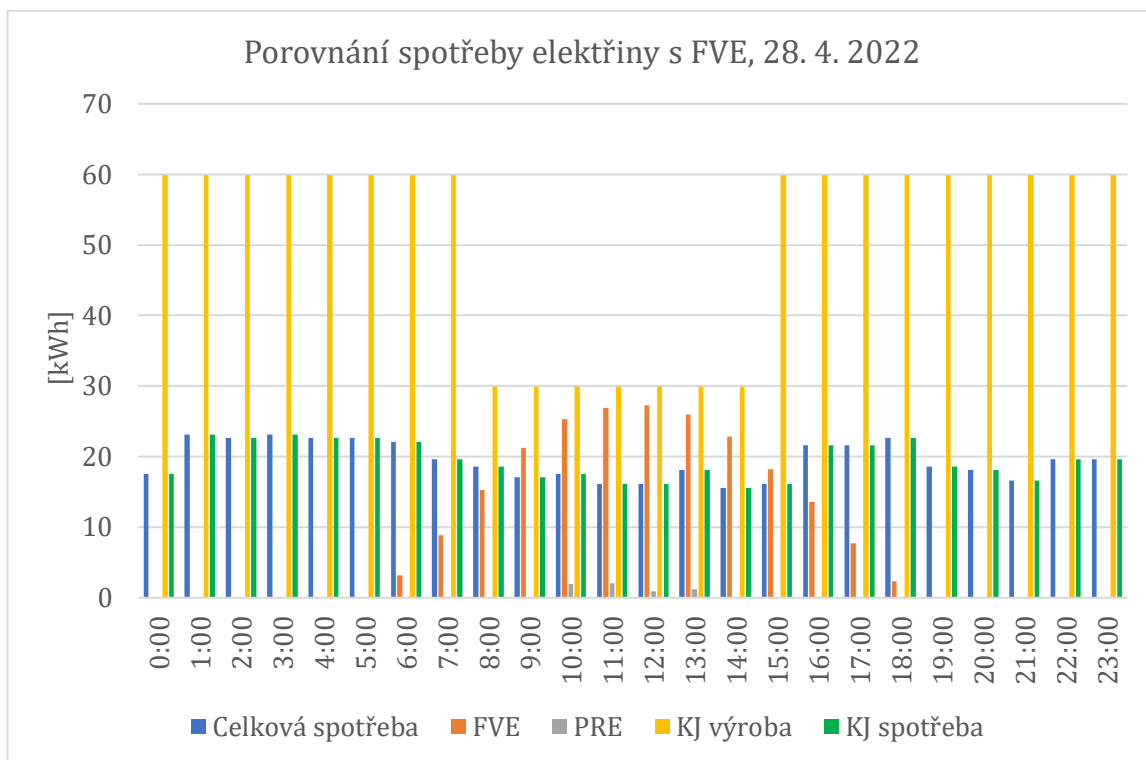
Aby bylo možné zhodnotit pokrytí spotřeby elektrické energie v penzionu, porovnám křivku simulované spotřeby elektřiny v měsíci červenci z grafu 7-9 v kapitole 7.5.1 s křivkou výkonu vybrané varianty FVE z kapitoly 11.3.



Graf 12-1: Porovnání spotřeby elektřiny s FVE, průměrný červencový den

Na sloupcovém grafu 12-1 je zobrazen tok elektrické energie v penzionu v jeden průměrný červencový den. Oranžová barva znázorňuje průběh výroby elektrické energie navrhované fotovoltaické elektrárny o výkonu 49 kWp. Žlutá barva ukazuje celkový elektrický výkon kogenerační jednotky. V letních měsících je v provozu pouze jedna ze dvou. Kogenerační jednotka pracuje na svůj maximální výkon a veškeré produkované teplo je využito na ohřev TUV v zásobnících umístěných v kotelně penzionu. Zelená barva na grafu 12-1 znázorňuje množství odebrané elektrické energie z kogenerační jednotky. Zbývající část vyrobené elektrické energie patří firmě OnSite Power a je odesílána do vnější sítě. Šedá barva ukazuje množství elektrické energie odebrané z vnější sítě dodavatele PRE. Modrá barva nakonec sjednocuje odběr elektřiny z vnější sítě a spotřebu elektřiny z kogeneračních jednotek, což dohromady tvoří celkovou spotřebu elektrické energie v penzionu v průběhu dne. Graf 12-1 naznačuje, že mezi 10:00 a 15:00 dochází k nadbytečné produkci elektrické energie z fotovoltaické elektrárny.

Dne 28. 4. 2022 proběhlo v penzionu měření energetických toků. Porovnání naměřených dat s výrobou elektřiny z fotovoltaické elektrárny je zobrazeno na grafu 12-2. Od 0:00 do 7:00 byly v provozu obě kogenerační jednotky společně, od 8:00 do 14:00 byla jedna KJ odstavena a od 15:00 po zbytek dne opět pracovaly obě společně.



Graf 12-2: Porovnání spotřeby elektřiny s FVE, 28. 4. 2022

Provoz obou kogeneračních jednotek poukazuje na nižší závislost penzionu na odběru elektrické energie z vnější sítě v přechodném a zimním období. Od PRE bylo odebráno v den měření celkem 6 kWh v době od 10:00 do 13:00. Od 9:00 do 15:00 by fotovoltaická elektrárna vyráběla více elektrické energie, než by se v penzionu spotřebovalo.

Porovnání spotřeby elektřiny s optimální variantou FVE je k dispozici v příloze 4 pro měsíce, kdy byla v provozu pouze jedna kogenerační jednotka, tedy od května do 19. září.

## 13 Ekonomické zhodnocení

### 13.1 Současný stav provozních nákladů

Veškeré energetické toky v penzionu za rok 2022, které udávají současný stav řešení zásobování teplem a elektrickou energií v penzionu, shrnují tabulky v kapitolách 6.1, 6.2 a 6.3.

Kogenerační jednotky instalované v penzionu provozuje, jak již bylo zmíněno v kapitole 6.2, firma OnSite Power. Firma zajišťuje také zemní plyn pro kogenerační jednotky a zároveň i zemní plyn jako palivo pro kotel. Majitelé hradí každý měsíc firmě OnSite Power platby za spotřebovanou elektřinu a teplo z kogeneračních jednotek a za zemní plyn pro provoz kotle.

V současné době platí majitelé za spotřebovanou elektrickou energii z kogeneračních jednotek 5 Kč/kWh bez DPH firmě OnSite Power. K této ceně je třeba připočítat daň z elektrické energie, která činí 28,30 Kč/MWh. Za spotřebované teplo z kogeneračních jednotek si OnSite Power účtuje 6,59 Kč/kWh bez DPH. Zemní plyn pro provoz kotle prodává OnSite majitelům penzionu za burzovní ceny, nyní za 2,50 Kč/kWh.

V tabulce 13-1 jsou shrnuté celkové roční platby za konkrétní komodity.

*Tabulka 13-1: Celkové roční platby za konkrétní komodity*

Komodita	Cena [Kč/rok]
Teplo (OnSite Power)	4 070 570,50
Elektřina (OnSite Power)	683 718,10
Zemní plyn (OnSite Power)	193 800,00

Za odběr elektrické energie a tepla z kogeneračních jednotek zaplatí ročně majitelé penzionu firmě OnSite Power 4 754 288,60 Kč. Zemní plyn pro provoz kotle stojí majitele penzionu ročně 193 800,00 Kč.

Vedle elektřiny z kogeneračních jednotek penzion odebírá i elektřinu z vnější sítě. Ceny elektrické energie jsou od 1.1.2023 zastropované. U ceníku elektrické energie od PRE je vedle zastropovaného ceníku v tabulce 13-2 uveden i ceník, který bude aktuální po ukončení regulace ceny. Tato cena je uvedena v závorce pod zastropovanými cenami.

Tabulka 13-2: Ceník a platba za odběr elektřiny z vnější sítě

Tarif	C02d pro podnikatele			
Jistič	3x 100 A až 3x 125 A		Celková cena	
Položka	Hodnota	Jednotka	bez DPH [Kč/rok]	s DPH [Kč/rok]
Cena za dodávku elektrické energie:				
Vysoký tarif	5 000,00 (9 275,00)	Kč/MWh	134 095,00 (248 746,20)	
Stálá platba	130,00 (119,00)	Kč/měsíc	1 560,00 (1 428,00)	
Cena za distribuci elektrické energie:				
Vysoký tarif	2 182,68	Kč/MWh	58 537,29	
Stálá platba	1 219,00	Kč/měsíc	14 628,00	
Ostatní složky:				
Daň z elektrické energie	28,30	Kč/MWh	758,98	
Systémové služby	113,53	Kč/MWh	3 044,76	
Činnost OTE	3,43	Kč/měsíc	41,16	
Podpora OZE	0,00	Kč/MWh	0,00	
<b>celkem</b>			<b>212 665,19</b> <b>(327 184,42)</b>	<b>257 324,90</b> <b>(395 893,10)</b>

Při zachování stejného odběru elektrické energie z vnější sítě zaplatí majitelé ročně 212 665,19 Kč bez DPH, v případě ukončení regulace cen by zaplatili 327 184,42 Kč bez DPH, což je skoro 54% zvýšení platby za elektřinu.

Celkem tedy za stávající řešení zásobování elektrickou energií a teplem zaplatí majitelé 5 160 753,79 Kč/rok bez DPH, pokud budou po celý rok zachovány regulované ceny energií. Se započtením DPH roční úhrada dosáhne 6 244 512,09 Kč.

## 13.2 Úspora při instalaci FVE

V kapitole 5 byly shrnuty možnosti řešení vzniklých přebytků vyrobené elektrické energie z navrhované fotovoltaické elektrárny.

Protože má fotovoltaická elektrárna instalovaný výkon 49 kWp, není možné využít služby virtuální baterie, která povoluje instalovaný výkon jen do 10 kWp.

Provoz kogeneračních jednotek a s ním spojený minimální odběr tepla a elektrické energie je vázán smlouvou, a tak není možné kogenerační jednotky v letním období zcela odstavit. Proto je elektrická energie, která je fotovoltaickou elektrárnou vyrobena v době provozu KJ, zcela nevyužitelná například pro ohřev TUV v zásobnících v kotelně penzionu.

V neposlední řadě se nabízí instalace akumulční baterie. Při zohlednění současné spotřeby elektrické energie a průběhu výroby elektrické energie z FVE lze očekávat, že průměrné přebytky v letních měsících dosáhnou přibližně 80 kWh/den. Akumulační baterie se obvykle dimenzují na uložení přebytků ze 3 – 5 dní. Odhadem podle [37] by tak bylo třeba instalovat baterii s kapacitou 300 kWh, aby bylo možné uložit přebytky minimálně ze 3 slunných letních dní. V rešerši v kapitole 5.1 bylo zjištěno, že průměrná cena za 1 kWh kapacity akumulátoru je přibližně 10 000 Kč. Investice na pořízení baterie by tak přesahovala 3 000 000 Kč. Problémem však není jen výše počáteční investice, ale i nemožnost a nevyužitelnost této technologie v zimním období, kdy je spotřeba elektrické energie zcela pokryta kogeneračními jednotkami.

Další možností, jak se vypořádat s přebytečnou elektrickou energií, je její prodej.

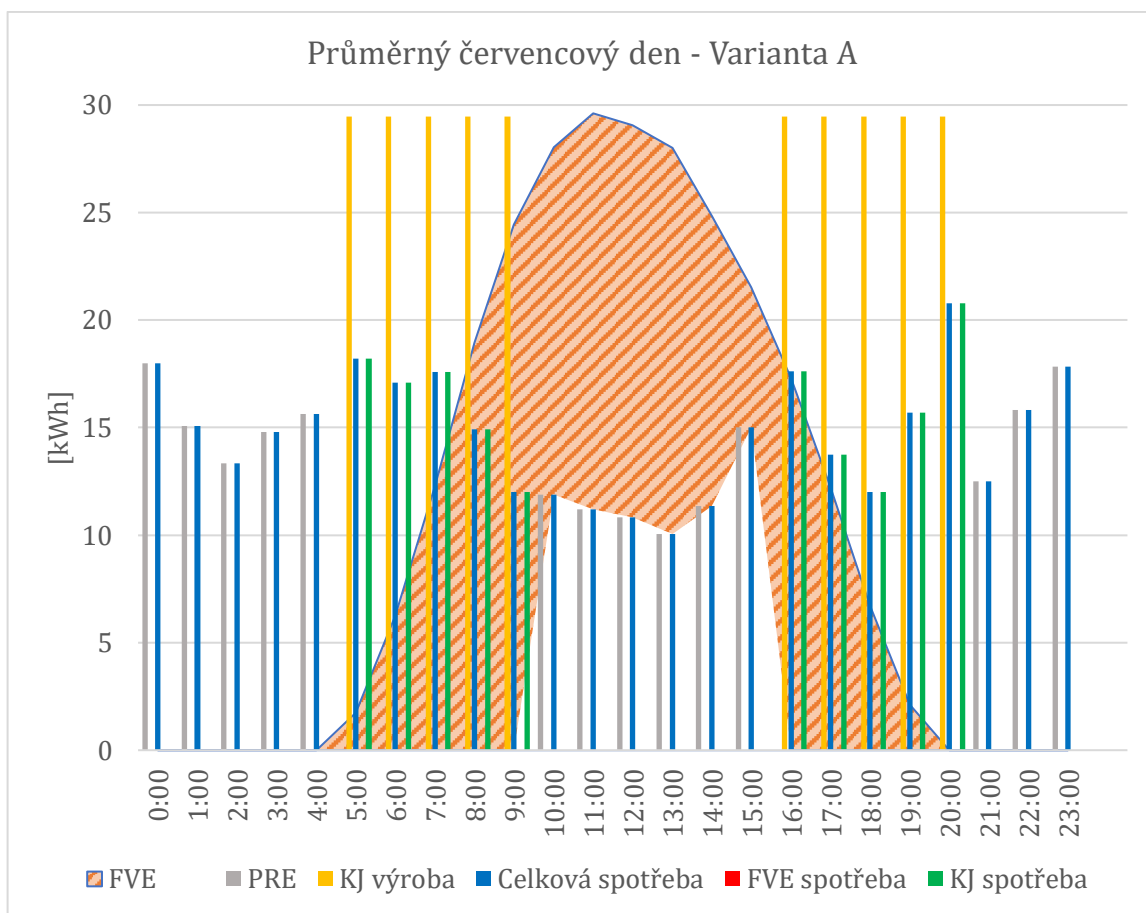
Je možné využít služby PRE Proud Solar, kterou nabízí dodavatel elektrické energie do penzionu, PRE. V tuto chvíli existují dvě varianty, jak službu PRE Proud Solar využít. První variantou je pokrytí spotřeby elektřiny v poledních hodinách elektřinou z fotovoltaické elektrárny a prodej přebytků, které nelze v penzionu využít. Druhou variantou je prodej veškeré vyrobené elektřiny z fotovoltaické elektrárny.

Přebytečnou elektrickou energii také vykupují nezávislí dodavatelé elektrické energie, mezi které patří například TEDOM Energie s.r.o., nebo BezDodavatele.cz. Tento způsob by byl využitý pro prodej veškeré vyrobené elektrické energie.

### 13.2.1 Varianta A – prodej přebytků PRE Proud Solar

Řešení přebytků službou PRE Proud Solar je podrobně vysvětleno na příkladu pro měsíc červenec.

První variantou označenou písmenem A je využití jen takového množství elektrické energie z fotovoltaické elektrárny, které pokryje odběr z vnější sítě v čase od 10:00 do 15:00. Mimo tento časový úsek je v provozu kogenerační jednotka, naznačená žlutými sloupci v grafu 13-1, která v čase od 5:00 do 10:00 a poté od 16:00 do 20:00 pokrývá spotřebu elektrické energie penzionu. Zbytek elektrické energie z FVE bude prodáván PRE v programu PRE Proud Solar. Na grafu 13-1 je množství prodané elektrické energie zobrazeno na šrafované oranžové ploše.



Graf 13-1: Průměrný červencový den - Varianta A

Množství elektrické energie, jež by se ve Variantě A posílalo do vnější sítě PRE, je shrnuto v měsíčních datech v tabulce 13-3.

Dle stejného ceníku pro zastropované ceny jako v tabulce 13-2 v kapitole 13.1 byla vyčíslena platba za elektrickou energii odebranou z vnější sítě pro celý rok před instalací fotovoltaické elektrárny a platba po instalování fotovoltaické elektrárny.

Výsledky jsou shrnuty v tabulce 13-4.

Tabulka 13-3: Měsíční shrnutí přebytků elektřiny ve Variantě A

	Varianta A [kWh/měsíc]
leden	1 366,27
únor	2 248,29
březen	4 207,98
duben	6 557,34
květen	5 369,09
červen	5 826,96
červenec	5 977,19
srpen	4 628,57
září (do 19.)	2 049,73
září (od 19.)	1 382,50
říjen	3 171,88
listopad	1 545,56
prosinec	1 199,43
<b>celkem</b>	<b>45 584,78</b>

Za rok odebere penzion z vnější sítě 26,82 MWh. V této variantě zpět do vnější sítě odejde z penzionu 45,58 MWh/rok. Veškerý odběr z vnější sítě je tak počítán se slevou 3 500,00 Kč/kWh na silovou část ceny elektrické energie. Do dalšího zúčtovacího období majitelům zbude 18,76 MWh, které by měly v budoucích fakturách také podléhat této slevě.

Tabulka 13-4: Varianta A – roční platba a úspora

	Současný stav [Kč/rok]	Platba PRE [Kč/rok]	Úspora [Kč/rok]
<b>celkem</b>	<b>212 665,19</b>	<b>77 845,80</b>	<b>134 819,39</b>

Jak je uvedeno v kapitole 13.1 a zároveň v tabulce 13-4, ročně zaplatí majitelé penzionu dodavateli elektrické energie 212 665,19 Kč bez DPH. V této variantě A zaplatí 77 845,80 Kč/rok bez DPH a uspoří tak 134 819,39 Kč/rok bez DPH.

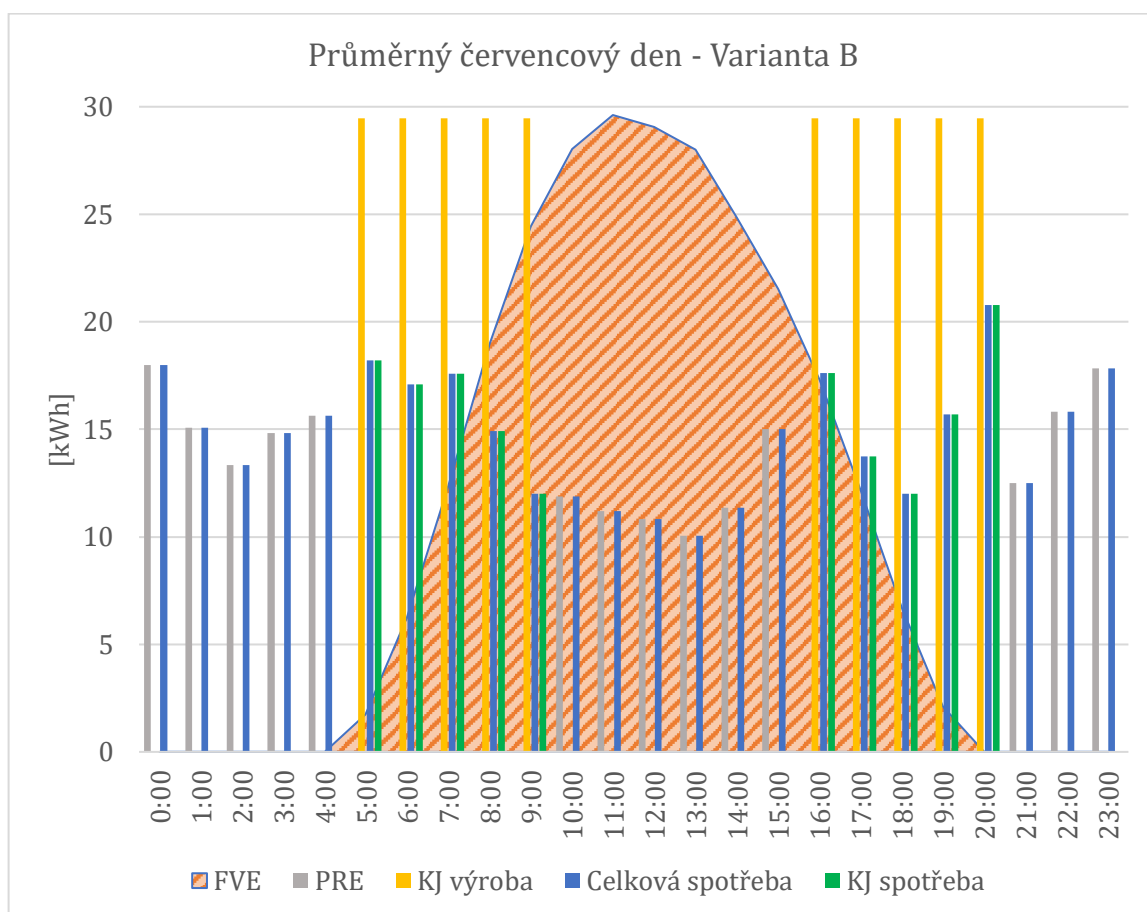


### 13.2.2 Varianta B – prodej veškeré vyrobené elektrické energie

Ve Variantě B se nabízejí 2 možnosti, jak s veškerou vyrobenou elektřinou naložit. Nezávislí dodavatelé obvykle vykupují elektrickou energii buď za fixní ceny, nebo za spotové ceny. Fixní ceny v dnešní době dosahují 2,50 Kč/kWh, spotové ceny velmi kolísají, a tak není možné vypočítat přesnou úsporu. Tato Varianta nese označení B2. Druhou možností označenou jako Varianta B1 je prodej veškeré vyrobené elektrické energie PRE opět v programu PRE Proud Solar a následné využití slevy na odběr elektrické energie z vnější sítě.

Tato varianta by přicházela v úvahu, pokud by nastal problém s připojením dalšího elektroměru, který by měřil dodávky elektrické energie z dalšího zdroje do penzionu. FVE by díky tomuto řešení měla pouze standardní fakturační elektroměr na přetoky do sítě a byla by tak formálně oddělena od budovy penzionu.

V grafu 13-2 je prodávané množství elektrické energie opět vyznačeno šrafovanou oranžovou plochou.



Graf 13-2: Průměrný červencový den - Varianta B

Množství elektrické energie, jež by se v každé z variant B1 a B2 prodávalo, je shrnuto v měsíčních datech v tabulce 13-5.

Tabulka 13-5: Měsíční shrnutí přebytků elektřiny ve Variantě B

	Varianta B [kWh/měsíc]
leden	1 366,27
únor	2 248,29
březen	4 207,98
duben	6 557,34
květen	7 516,91
červen	8 069,80
červenec	8 156,25
srpen	7 078,02
září (do 19.)	3 260,53
září (od 19.)	1 914,91
říjen	3 171,88
listopad	1 545,56
prosinec	1 199,43
<b>celkem</b>	<b>56 293,18</b>

Stejným způsobem jako v předchozí kapitole byly úspory jednotlivých variant vyčísleny.

Za rok odebere penzion z vnější sítě 26,82 MWh. V této variantě zpět do vnější sítě odejde z penzionu 56,29 MWh/rok. Veškerý odběr z vnější sítě je počítán se slevou 3 500 Kč/kWh na silovou část ceny elektrické energie. Do dalšího zúčtovacího období majitelům zbude 29,47 MWh, které by měly v budoucích fakturách podléhat této slevě.

Tabulka 13-6: Varianta B1 a B2 – roční platba a úspora

[Kč/rok]	Současný stav	Platba PRE	Úspora
<b>celkem V-B1</b>	<b>212 665,19</b>	<b>118 798,70</b>	<b>93 866,49</b>
<b>celkem V-B2</b>	<b>212 665,19</b>	<b>212 665,20</b>	<b>140 732,89</b>

V tabulce 13-6 jsou shrnuty roční platby a úspory nabízených variant B1 a B2. Oproti současnému stavu ušetří majitelé 93 866,49 Kč/rok při využití programu PRE Proud Solar. Při prodeji přebytečné elektrické energie nezávislému dodavateli, v tomto případě TEDOM Energie s.r.o., se uspoří 140 732,89 Kč/rok.

### 13.3 Investiční náklady

V tabulce 13-7 je uveden rozpis investičních nákladů, který zahrnuje všechny potřebné komponenty fotovoltaické elektrárny, včetně montážních prací a projektové dokumentace. Veškeré náklady byly konzultovány s firmou Česká solární a.s., jež by v budoucnu měla projekt fotovoltaické elektrárny navržený v této práci realizovat.

Tabulka 13-7: Investiční náklady

Položka	Počet kusů [ks]	[Kč/ks]	Celkem bez DPH [Kč]
Solární FV panel	98	6 525,00	639 450,00
Montážní sada	98	3 400,00	333 200,00
Střídač	2	55 136,00	110 272,00
Rozvaděč pro měnič DC, AC	2	65 500,00	131 000,00
Optimizér výkonu + bezpečnostní systém	49	2 327,00	114 022,00
Sledovací a komunikační jednotka	1	27 000,00	27 000,00
Příslušenství	1	82 960,00	82 960,00
Dokumentace + administrace	1	23 000,00	23 000,00
Montážní práce + doprava	1	213 840,00	213 840,00
<b>celkem</b>			<b>1 674 744,00</b>

Celkové investiční náklady na instalaci fotovoltaické elektrárny činí 1 674 744,0 Kč.

### 13.4 Doba návratnosti (prostá, diskontovaná)

Doba návratnosti je kritérium, které značí, za kolik let se investorovi konkrétní investice vrátí. Rozlišujeme dobu návratnosti prostou a diskontovanou. Prostá doba návratnosti se vypočítá jako podíl investičních nákladů IN ku ročnímu peněžnímu toku neboli Cash Flow CF a slouží především jako jednoduchý odhad návratnosti. [38]

$$PP_p = \frac{IN}{CF} \quad (13.1)$$

Diskontovaná doba návratnosti zohledňuje proměnnou hodnotu CF v čase. Diskontovaný peněžní tok se značí DCF a vypočítá se podle rovnice (13.2)

$$DCF = CF \cdot (1 + r)^{-t}, \quad (13.2)$$

kde t odpovídá danému roku a r značí diskontní sazbu. Diskontní sazba je úroková sazba, za kterou centrální banka půjčuje peníze obchodním bankám, její výše je dostupná v [39]. Při hodnocení projektů se do diskontní sazby může započítávat i podnikatelské riziko. Diskontovaná doba návratnosti se pak vypočítá podle rovnice (13.3) obdobně jako prostá doba návratnosti. [38]

$$PP_d = \frac{IN}{DCF} \quad (13.3)$$

Obecně platí, že čím je doba návratnosti nižší, tím je investice posuzována jako výhodnější.

V tabulce 13-8 jsou shrnuté vstupní hodnoty jednotlivých proměnných.

Tabulka 13-8: Vstupní hodnoty pro ekonomické zhodnocení Variant A, B1, B2

	CF [Kč/rok]	r [%]	IN [Kč]	Doba životnosti [roky]
Varianta A	134 819,4	6	1 674 744,0	25
Varianta B1	93 866,5	6	1 674 744,0	25
Varianta B2	140 732,9	6	1 674 744,0	25

### 13.4.1 Varianta A

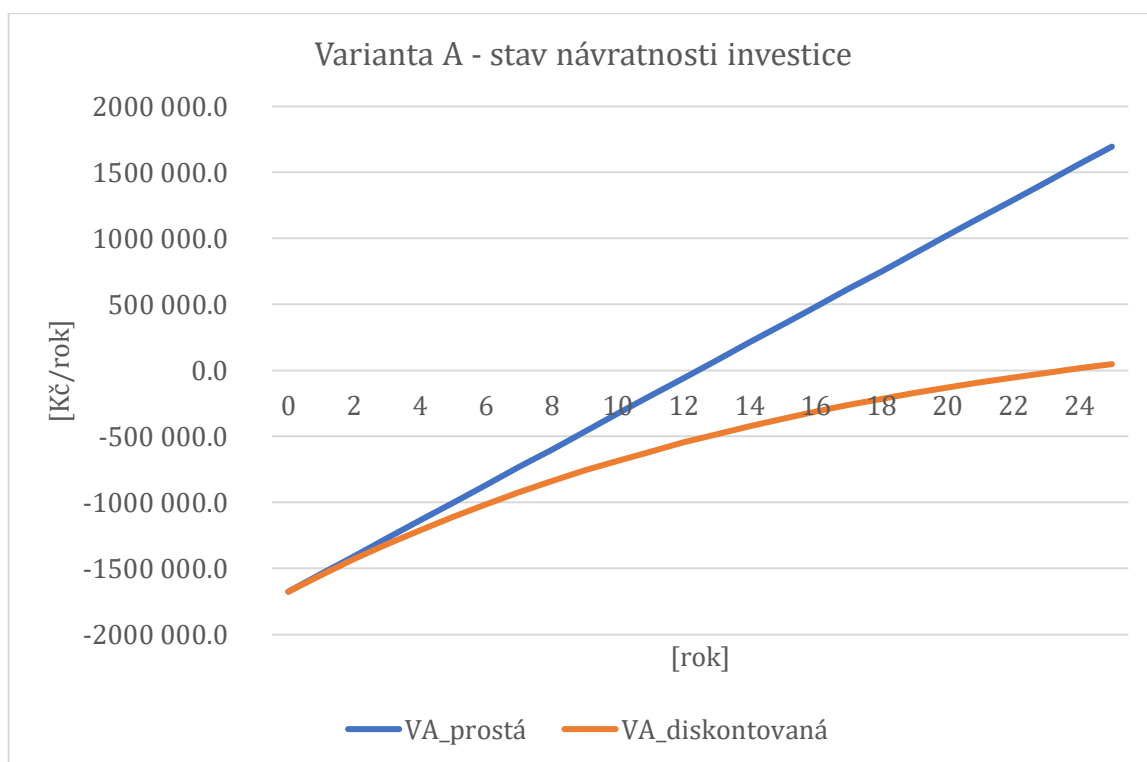
V následující tabulce 13-9 je zobrazen tok peněz od roku instalace fotovoltaické elektrárny po celou dobu její životnosti. V tabulce 13-9 je barevně znázorněna prostá a diskontovaná doba návratnosti.

Tabulka 13-9: Kumulované Cash Flow Varianty A

Rok	CF	PP <sub>p</sub>	DCF	PP <sub>d</sub>
0	0,0	-1 674 744,0	0,0	-1 674 744,0
1	134 819,4	-1 539 924,6	127 188,1	-1 547 555,9
2	134 819,4	-1 405 105,2	119 988,8	-1 427 567,1
3	134 819,4	-1 270 285,8	113 197,0	-1 314 370,1
4	134 819,4	-1 135 466,4	106 789,6	-1 207 580,5
5	134 819,4	-1 000 647,0	100 744,9	-1 106 835,6
6	134 819,4	-865 827,6	95 042,4	-1 011 793,3
7	134 819,4	-731 008,2	89 662,6	-922 130,7
8	134 819,4	-596 188,8	84 587,4	-837 543,3
9	134 819,4	-461 369,4	79 799,4	-757 743,9
10	134 819,4	-326 550,0	75 282,4	-682 461,5
11	134 819,4	-191 730,6	71 021,2	-611 440,3
12	134 819,4	-56 911,2	67 001,1	-544 439,2
13	134 819,4	77 908,2	63 208,6	-481 230,6
14	134 819,4	212 727,6	59 630,8	-421 599,8
15	134 819,4	347 547,0	56 255,4	-365 344,4
16	134 819,4	482 366,4	53 071,2	-312 273,3
17	134 819,4	617 185,8	50 067,1	-262 206,1
18	134 819,4	752 005,2	47 233,1	-214 973,0
19	134 819,4	886 824,6	44 559,6	-170 413,4
20	134 819,4	1 021 644,0	42 037,3	-128 376,1
21	134 819,4	1 156 463,4	39 657,9	-88 718,2
22	134 819,4	1 291 282,8	37 413,1	-51 305,2
23	134 819,4	1 426 102,2	35 295,3	-16 009,8
24	134 819,4	1 560 921,6	33 297,5	17 287,7
25	134 819,4	1 695 741,0	31 412,7	48 700,4

Prostá doba návratnosti dosahuje 13 let a diskontovaná doba návratnosti 24 let. Investice se tak majitelům vrátí pouze rok před udávaným vypršením doby životnosti fotovoltaické elektrárny.

Data z tabulky 13-9 jsou znázorněna na grafu 13-3. Modrá křivka je lineární a zobrazuje prostou návratnost projektu. Křivka oranžové barvy vyobrazuje diskontovanou návratnost. Místo, kde křivka protíná vodorovnou osu, udává danou dobu návratnosti.



Graf 13-3: Varianta A - stav návratnosti investice

### 13.4.2 Varianta B1

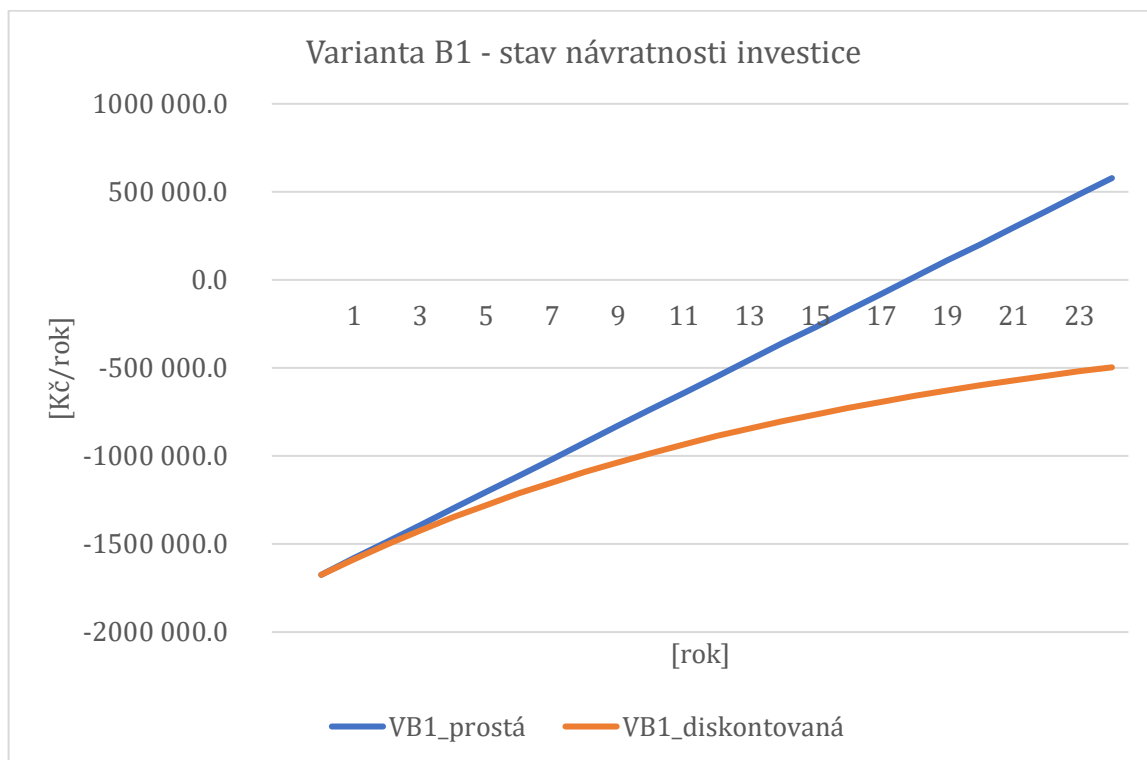
Stejně jako varianta A je zpracována i Varianta B1. V tabulce 13-10 není vyznačena diskontovaná doba návratnosti, protože přesahuje dobu životnosti fotovoltaické elektrárny.

Tabulka 13-10: Kumulované Cash Flow Varianty B1

Rok	CF	PP <sub>p</sub>	DCF	PP <sub>d</sub>
0	0,0	-1 674 744,0	0,0	-1 674 744,0
1	93 866,5	-1 580 877,5	88 553,3	-1 586 190,7
2	93 866,5	-1 487 011,0	83 540,9	-1 502 649,8
3	93 866,5	-1 393 144,5	78 812,1	-1 423 837,7
4	93 866,5	-1 299 278,0	74 351,1	-1 349 486,7
5	93 866,5	-1 205 411,5	70 142,5	-1 279 344,2
6	93 866,5	-1 111 545,0	66 172,2	-1 213 172,0
7	93 866,5	-1 017 678,5	62 426,6	-1 150 745,4
8	93 866,5	-923 812,0	58 893,0	-1 091 852,4
9	93 866,5	-829 945,5	55 559,4	-1 036 293,0
10	93 866,5	-736 079,0	52 414,6	-983 878,4
11	93 866,5	-642 212,5	49 447,7	-934 430,7
12	93 866,5	-548 346,0	46 648,8	-887 781,9
13	93 866,5	-454 479,5	44 008,3	-843 773,6
14	93 866,5	-360 613,0	41 517,2	-802 256,4
15	93 866,5	-266 746,5	39 167,2	-763 089,2
16	93 866,5	-172 880,0	36 950,2	-726 139,0
17	93 866,5	-79 013,5	34 858,7	-691 280,3
<b>18</b>	93 866,5	14 853,0	32 885,5	-658 394,8
19	93 866,5	108 719,5	31 024,1	-627 370,7
20	93 866,5	202 586,0	29 268,0	-598 102,6
21	93 866,5	296 452,5	27 611,3	-570 491,3
22	93 866,5	390 319,0	26 048,4	-544 442,9
23	93 866,5	484 185,5	24 574,0	-519 868,9
24	93 866,5	578 052,0	23 183,0	-496 685,9
25	93 866,5	671 918,5	21 870,8	-474 815,1

Prostá doba návratnosti je pro tuto variantu B1 18 let.

Na grafu 13-4 je možné vidět, že oranžová křivka s diskontovanou návratností se v době životnosti blíží k vodorovné ose, nicméně ji v daném časovém horizontu neprotne.



Graf 13-4: Varianta B1 - stav návratnosti investice



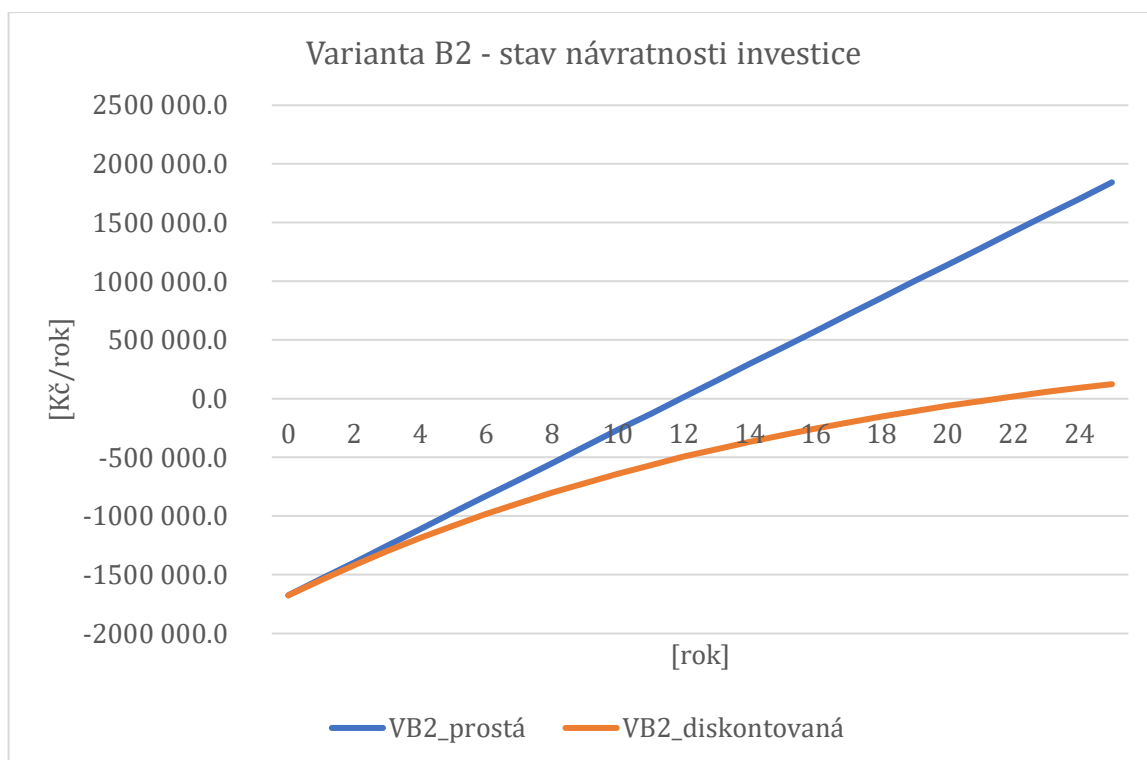
### 13.4.3 Varianta B2

Varianta B2 byla zpracována obdobně jako dvě předchozí varianty. V tomto případě je opět možné v tabulce 13-11 znázornit prostou i diskontovanou dobu návratnosti.

Tabulka 13-11: Kumulované Cash Flow Varianty B2

Rok	CF	PP <sub>p</sub>	DCF	PP <sub>d</sub>
0	0,0	-1 674 744,0	0,0	-1 674 744,0
1	140 732,9	-1 534 011,1	132 766,9	-1 541 977,1
2	140 732,9	-1 393 278,2	125 251,8	-1 416 725,3
3	140 732,9	-1 252 545,3	118 162,1	-1 298 563,3
4	140 732,9	-1 111 812,4	111 473,6	-1 187 089,6
5	140 732,9	-971 079,5	105 163,8	-1 081 925,8
6	140 732,9	-830 346,6	99 211,1	-982 714,7
7	140 732,9	-689 613,7	93 595,4	-889 119,3
8	140 732,9	-548 880,8	88 297,6	-800 821,7
9	140 732,9	-408 147,9	83 299,6	-717 522,1
10	140 732,9	-267 415,0	78 584,5	-638 937,6
11	140 732,9	-126 682,1	74 136,3	-564 801,3
<b>12</b>	140 732,9	<b>14 050,8</b>	69 939,9	-494 861,3
13	140 732,9	154 783,7	65 981,1	-428 880,3
14	140 732,9	295 516,6	62 246,3	-366 634,0
15	140 732,9	436 249,5	58 722,9	-307 911,0
16	140 732,9	576 982,4	55 399,0	-252 512,1
17	140 732,9	717 715,3	52 263,2	-200 248,9
18	140 732,9	858 448,2	49 304,9	-150 944,0
19	140 732,9	999 181,1	46 514,1	-104 429,9
20	140 732,9	1 139 914,0	43 881,2	-60 548,7
21	140 732,9	1 280 646,9	41 397,3	-19 151,4
<b>22</b>	140 732,9	<b>1 421 379,8</b>	<b>39 054,1</b>	<b>19 902,7</b>
23	140 732,9	1 562 112,7	36 843,5	56 746,2
24	140 732,9	1 702 845,6	34 758,0	91 504,2
25	140 732,9	1 843 578,5	32 790,6	124 294,8

Bez započtení diskontní míry se náklady na projekt ve Variantě B2 navrátí za 12 let. Se započtením proměnné hodnoty Cash Flow projektu v čase začne projekt vydělávat po 22 letech od instalace.



Graf 13-5: Varianta B2 - stav návratnosti investice

Na grafu 13-5 je možné vidět, že obě křivky protínají vodorovnou osu v místě s vypočtenou dobou návratnosti investice.

### 13.5 Shrnutí

Diskontovaná doba návratnosti vyšla ve všech třech variantách vyšší než 20 let. S uvažovanou dobou životnosti 25 let je diskontovaná doba návratnosti vysoká. Dobu návratnosti nejvíce ovlivňuje výše diskontní sazby České národní banky, která se od července 2022 drží na hranici 6 % a je pravděpodobné, že pod tuto hodnotu v nejbližších měsících neklesne.

Nejlépe z ekonomického hlediska vychází Varianta B2. V této variantě vykupuje veškerou vyrobenou elektrickou energii nezávislý dodavatel, v tomto případě firma TEDOM a.s.

Varianta A má o 2 roky delší diskontovanou dobu návratnosti než Varianta B2. Největším problémem Varianty A je fakt, že tímto řešením by spotřebu elektrické energie penzionu pokrývaly současně 3 zdroje elektrické energie, fotovoltaická elektrárna a kogenerační jednotky, a zároveň by byl v penzionu stále zachován odběr elektřiny z vnější sítě, od PRE. Řešením tohoto problému by bylo rozdělení penzionu na 2 části, kdy by každá část měla vlastní zdroj elektrické energie a vlastní rozvody napájení. V jedné části penzionu by bylo zachováno současné řešení zásobování elektrickou energií. Tato část by odebírala elektrickou energii z vnější sítě a společně s elektřinou z kogeneračních jednotek by byla pokryta celková spotřeba elektrické energie této části penzionu. Druhá část penzionu s novými rozvody by byla zásobena elektrickou energií z fotovoltaické elektrárny. Přebytky z výroby elektrické energie z fotovoltaické elektrárny by pak mohly být bez problému posílány do vnější sítě. Toto řešení s sebou nicméně nese potřebu další investice.

## 14 Technicko-ekonomické zhodnocení

Při výběru nejvhodnější varianty bylo podstatné dodržet okrajové podmínky projektu, kdy část z nich byla stanovena majiteli penzionu. Ti jsou zároveň investory celého projektu.

Při návrhu jednotlivých variant bylo třeba zohlednit přání ponechat spodní část střechy penzionu nezastavěnou, což ovlivnilo výsledný instalovaný výkon. Volbu celkového výkonu FVE ovlivnila také nová legislativa, která zvýšila možný instalovaný výkon z 10 kWp na 50 kWp bez nutnosti zřízení licence a zajištění stavebního povolení. Výkon fotovoltaické elektrárny a potenciální prostor pro instalaci fotovoltaické elektrárny musel zároveň korespondovat se smluvně danými minimálními odběry tepla z kogeneračních jednotek.

Na základě ekonomického zhodnocení bylo zjištěno, že žádná z uvedených variant není příliš ekonomicky výhodná. V úvahu přichází instalace fotovoltaické elektrárny o nižším výkonu, například 27 kWp, který je zmíněn v úvodu kapitoly 10. Instalovaný výkon 27 kWp by mohl zajistit majitelům penzionu nezávislost na odběru elektřiny z vnější sítě. Do investice by pravděpodobně bylo třeba započítat i jeden ze zmíněných způsobů akumulace elektrické energie.

Pokud by se majitelé penzionu rozhodli projekt s fotovoltaickou elektrárnou o výkonu 49 kWp realizovat, bylo by třeba na základě reálných dat z provozu fotovoltaické elektrárny upravit provoz kogeneračních jednotek.

Existuje možnost, že by spolupráci mezi fotovoltaickou elektrárnou a kogeneračními jednotkami ovlivňovalo počasí v letních měsících. Ve dnech bez oblačnosti by kogenerační jednotky mohly být odstaveny a ohřev TUV by zajišťovala elektrická energie z fotovoltaické elektrárny pomocí topné spirály v akumulačních nádržích. Naopak ve dnech se zataženou oblohou by mohly veškerou spotřebu elektrické energie v penzionu pokrýt pouze kogenerační jednotky a fotovoltaická elektrárna by byla odstavena. Díky této nerovnosti v provozu by mohla být naplněna smluvní podmínka měsíčního minimálního odběru tepla z kogeneračních jednotek.

Alternativním řešením je pořízení tepelného čerpadla vzduch-voda, které bude sloužit k ohřevu TUV a bude napájeno elektřinou z fotovoltaické elektrárny.

## 15 Závěr

Cílem práce byl návrh fotovoltaické elektrárny pro pražský penzion Chmelnice, jehož spotřebu energie v současné době pokrývají kogenerační jednotky, kotel na zemní plyn a odběr elektřiny z vnější sítě.

V rešeršní části této práce byl popsán princip fotovoltaického jevu, druhy fotovoltaických článků a závislost účinnosti fotovoltaického panelu na sklonu a orientaci panelu. Zmíněny byly také základní komponenty fotovoltaické elektrárny a princip kombinované výroby elektrické a tepelné energie. Dále byl zhodnocen potenciál solární energie v ČR pomocí mapy intenzity solární energie. Rešeršní část se věnovala i obdobným aplikacím fotovoltaických elektráren v ČR a také instalacím, kde spolu spolupracuje fotovoltaický systém a kogenerační jednotky. V závěru rešerše bylo shrnuto několik možností, jak se vyrovnat s přebytky ve výrobě elektrické energie z fotovoltaické elektrárny. Popsáno bylo bateriové úložiště, ukládání energie do zásobníku TUV, služba virtuální baterie a prodej přebytečné elektřiny dodavatelům.

V úvodu praktické části diplomové práce byl popsán penzion Chmelnice, pro nějž je fotovoltaická elektrárna v této práci navrhována.

Nejprve bylo nutné zhodnotit energetické toky v penzionu, a tak proběhlo měření s odečty dat z elektroměrů a vodoměru, díky kterým bylo možné sestavit odběrové křivky. Data o provozu kogeneračních jednotek a o plynovém kotli v roce 2022 poskytli majitelé penzionu. Na základě získaných a odečtených dat byla provedena simulace průběhu spotřeby elektřiny vždy v jeden průměrný den těch měsíců, ve kterých nebylo možné provést odečty.

Aby se zajistila validace dat o průběhu intenzity solárního záření v každém měsíci roku, byly v další kapitole porovnána data dvou databází – PVGIS a HelioClim. Následně pro další výpočty byla vybrána databáze PVGIS.

V následující kapitole byly shrnuty parametry fotovoltaických panelů, které byly zvoleny pro návrh fotovoltaické elektrárny. Vybrány byly panely Vertex typu Trina Solar TSM-DE18M(II) o výkonu 500 Wp.

Kapitola 10 se věnovala stanovením možných variant řešení. Celkem byly sestaveny 4 varianty, které se odlišovaly sklonem a orientací panelů. Zároveň byl stanoven celkový výkon FVE na 49 kWp, který zohledňuje okrajové podmínky konzultované s majiteli penzionu.

Další kapitola se týkala výpočtu vyrobené elektrické energie fotovoltaickou elektrárnou v jednotlivých variantách. Zvolená metodika výpočtu byla předvedená

pro měsíc červenec. Na základě výpočtů proběhlo porovnání variant řešení a byla vybrána optimální varianta fotovoltaické elektrárny označená jako Varianta 2. Pro tuto variantu bylo navrženo rozložení fotovoltaických panelů na střeše penzionu. Z celkových 98 panelů jich 24 směřuje na východ, 50 na jih a zbylých 24 na západ. Všechny panely mají sklon 10°.

Dále proběhlo porovnání průběhu výroby elektrické energie z fotovoltaické elektrárny se spotřebou elektřiny v penzionu pro měsíce od dubna do září. Na základě tohoto porovnání pro průměrný červencový den bylo zjištěno, že dochází k nadbytečné produkci elektrické energie z FVE v průběhu dne.

V rámci ekonomického zhodnocení byly vyčísleny současné provozní náklady penzionu. Majitelé penzionu zaplatí ročně celkem 5 160 754 Kč bez DPH za stávající řešení pokrývání spotřeby elektrické energie a tepla. Následně byla vyhodnocena úspora po instalaci FVE prostřednictvím 3 variant prodeje přebytků elektrické energie. První variantou byl prodej nevyužité elektrické energie v rámci programu PRE Proud Solar. Druhá varianta počítala s prodejem veškeré elektrické energie z FVE v rámci programu PRE Proud Solar. V poslední variantě by se veškerá elektrická energie prodala nezávislému dodavateli elektřiny, v tomto případě TEDOM a.s. Zmíněny byly také investiční náklady projektu fotovoltaické elektrárny, které činí 1 674 744 Kč. Ty posloužily při vyhodnocení projektu z hlediska doby návratnosti. Nejnižší diskontovanou dobu návratnosti má varianta označená B2 s prodejem elektřiny TEDOM a.s., a to 22 let.

Závěrečná kapitola se týkala celkového technicko-ekonomického zhodnocení včetně možných strategií budoucnosti celého projektu fotovoltaické elektrárny v penzionu Chmelnice.

## 16 Seznam použitých zdrojů

- [1] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [2] LETCHER, Trevor M. a Vasilis M. FTHENAKIS. *A Comprehensive Guide To Solar Energy Systems: With A Special Focus On Photovoltaic Systems*. Elsevier Books, 2018. ISBN 978-0-12-811479-7.
- [3] Monokrystalický nebo polykrystalický solární panel? Jaký vybrat?. *Abctech* [online]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.abctech.cz/default.asp?show=wm&wmpart=article&wmaid=99>
- [4] MARKVART, T. *Solar electricity*. 2nd. Chichester: Wiley-Academy, 2000. ISBN 9780471988533.
- [5] FRANKLIN, Ed. *Solar Photovoltaic (PV) System Components* [online]. 2018 [cit. 2022-10-09]. Dostupné z: <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1742-2018.pdf>. The University of Arizona.
- [6] ZILVAR, Jiří. Rozumná návratnost domácí fotovoltaiky? Pozor na správný střídač. *ESTAV.cz* [online]. 10. 3. 2021 [cit. 2022-10-20]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/9418.rozumna-navratnost-domaci-fotovoltaiky-pozor-na-spravny-stridac>
- [7] Symetrický, nebo asymetrický střídač?. *SCHLIEGER* [online]. 14. 5. 2021 [cit. 2022-10-09]. Dostupné z: <https://www.schlieger.cz/radce/symetricky-nebo-asymetricky-stridac/>
- [8] Jednotky kWp a kWh – co označují a jaký je mezi nimi rozdíl?. *Epet*. [online]. 8. 11. 2018 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.epet.cz/jednotky-kwp-a-kwh-co-oznacuji-a-jaky-je-mezi-nimi-rozdil/>
- [9] Kolik elektřiny vyrobí vaše FVE? Roli hraje nejen lokalita, sklon či orientace panelů. *Silektro ENERGY* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.silektro.cz/kolik-elektřiny-vyrobi-vase-fve-rol-i-hraje-nejen-lokalita-sklon-ci-orientace-panelu/>
- [10] *Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>

- [11] ENERGETIKA ZBLÍZKA: KOGENERAČNÍ A TRIGENERAČNÍ JEDNOTKA. *SVĚT ENERGIE: VZDĚLÁVACÍ PORTÁL ČEZ* [online]. [cit. 2023-04-19].  
Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/decentralizovana-energetika/decentralizovane-energeticke-zdroje-podrobne/kogeneracni-a-trigeneracni-jednotka/vyklad>
- [12] Kogenerace. *TZBinfo* [online]. [cit. 2023-04-19].  
Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/kogenerace>
- [13] JAK FUNGUJE KOGENERAČNÍ JEDNOTKA. *ČEZ ENERGO: ČLEN ČEZ ESCO* [online]. [cit. 2023-04-19].  
Dostupné z: <https://www.cezenergo.cz/cs/o-kogeneraci/jak-funguje-kogeneracni-jednotka>
- [14] BUDÍN, Jan. Kogenerace - princip, technologie a výhody. *Oenergetice.cz* [online]. 21. 4. 2015 [cit. 2023-04-19].  
Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/kogenerace-princip-technologie-a-vyhody>
- [15] KOGENERAČNÍ JEDNOTKY. *TEDOM* [online]. [cit. 2023-05-09].  
Dostupné z: <https://www.tedom.com/cs/kogeneracni-jednotky/>
- [16] Fotovoltaická elektrárna. *SOLARROOF* [online]. 21. 4. 2015 [cit. 2023-05-09].  
Dostupné z: <https://www.solarroof.cz/fve.php>
- [17] Česko ve fotovoltaike přerazuje na vyšší rychlost. Ani tak ale růst nestačí, stát musí jednat výrazně pružněji. *SOLÁRNÍ ASOCIACE: slunce, energie, akumulace* [online]. 21. 7. 2022 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.solarniasociace.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/28864-cesko-ve-fotovoltaike-prerazuje-na-vyssi-rychlost-ani-tak-ale-rust-destaci--stat-musi-jednat-vyrazne-pruzneji>
- [18] Rekonstrukce hotelu Thermal. *ATALIAN: global services* [online]. 27. 8. 2021 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://atalian.cz/rekonstrukce-hotelu-thermal/>
- [19] REFERENCE - Hotel Happy Star. *Renerga* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <http://www.renerga.cz/en/reference/fve-hotel-happy-star-30-18-kwp-p28/>
- [20] Veřejná zakázka: Hotel Jezerka - realizace energetických úspor. *TENDERA* [online]. 2022 [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: [https://ezak.tendera.cz/contract\\_display\\_1374.html](https://ezak.tendera.cz/contract_display_1374.html)



- [21] PRAX, Martin. Unikátní fotovoltaický systém dá energetickou nezávislost ostravskému logistickému centru. *Obnovitelně.cz: chytrá řešení pro život* [online]. 27. 9. 2019 [cit. 2022-05-29]. Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz/clanek/946/unikatni-fotovoltaicky-system-da-energetickou-nezavislost-ostravskemu-logistickemu-centru>
- [22] Projekt "Akumulace FVE Výčapy." *TEDOM* [online]. [cit. 2022-05-29]. Dostupné z: <https://www.tedom.com/cs/projekt-akumulace-fve-vycapy/>
- [23] MESSENGER, Roger A. a Jerry VENTRE. *Photovoltaic systems engineering*. 3rd. Boca Raton: CRC Press, 2010. ISBN 1439802920.
- [24] MANIMEKALAI, P., R. HARIKUMAR a S. RAGHAVAN. *An Overview of Batteries for Photovoltaic (PV) Systems* [online]. 2013 [cit. 2022-09-26]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/278670768\\_An\\_Overview\\_of\\_Batteries\\_for\\_Photovoltaic\\_PV\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/278670768_An_Overview_of_Batteries_for_Photovoltaic_PV_Systems). International Journal of Computer Applications.
- [25] BUČEK, Zdeněk. Jaké vybrat baterie pro fotovoltaiku? Výhody a nevýhody jednotlivých druhů. *Elektrickévozy* [online]. 21. 9. 2022 [cit. 2022-09-26]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/jake-baterie-pro-fotovoltaiku-vyhody-a-nevyhody>
- [26] 3 mýty o bateriích pro fotovoltaiku. *SCHLIEGER* [online]. 25. 8. 2022 [cit. 2022-09-26]. Dostupné z: <https://www.schlieger.cz/radce/myty-o-bateriich-pro-fotovoltaiku/>
- [27] Baterie AMASSTORE GTX3000. *VS Elektro* [online]. [cit. 2022-09-26]. Dostupné z: <https://www.vselektro.eu/baterie-amasstore-gtx3000/>
- [28] AMASS STORE BATTERY: GT X3000. *SCHLIEGER* [online]. [cit. 2022-09-26]. Dostupné z: <https://www.schlieger.cz/wp-content/themes/schlieger/files/baterie-amasstore.pdf>
- [29] GBC SOLINO S.R.O. Zvažujete fotovoltaiku? Jednoznačné důvody, proč zvolit Solax Power. *TZBinfo* [online]. 14. 5. 2021 [cit. 2022-09-26]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/22242-zvazujete-fotovoltaiku-jednoznacne-duvody-proc-zvolit-solax-power>

- [30] Baterie Solax Triple Power T58 5,8kW. *MOBLER: import export commodities*[online]. [cit. 2022-09-26]. Dostupné z: [https://www.mobler.cz/baterie-3/baterie-solax-h58-master-pack-t-5-8-kwh/?variantId=265111&gclid=CjwKCAjw3ueiBhBmEiwA4BhspIiPECUS\\_JT1pqYUIvPBCj61vZr9J3uCkQFoVXIYVZM4khnVCUzsdhoCCA0QAvD\\_BwE](https://www.mobler.cz/baterie-3/baterie-solax-h58-master-pack-t-5-8-kwh/?variantId=265111&gclid=CjwKCAjw3ueiBhBmEiwA4BhspIiPECUS_JT1pqYUIvPBCj61vZr9J3uCkQFoVXIYVZM4khnVCUzsdhoCCA0QAvD_BwE)
- [31] Triple Power Battery 5.8 kWh: Master / Slave (LiFePO): SolaX Power. *Smíchov EXPO Shop: Vše pro vaše solární elektrárny* [online]. [cit. 2022-09-26]. Dostupné z: <https://www.smichovexpo.shop/triple-power-battery-5-8-kwh/>
- [32] Možnosti skladování energie u fotovoltaiky (baterie a TUV). *VIESSMANN* [online]. [cit. 2022-10-09]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/skladovani-energie-fotovoltaika.html>
- [33] MATAJS, Vladimír. Virtuální baterie: podvod nebo zázrak?. *Solární Experti* [online]. 22.20.2021 [cit. 2022-10-09]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/virtualni-baterie-net-metering-porovnavi-vyhodnosti/>
- [34] PRE PROUD SOLAR. *PRE* [online]. [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.pre.cz/cs/domacnosti/elektrina/pre-proud-solar/>
- [35] Výkup přebytků z domácí elektrárny. *BezDodavatele.cz* [online]. [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.bezdodavatele.cz/vykup/#vykup>
- [36] Výkup elektřiny z mikrozdroje. *Centropol* [online]. [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.centropol.cz/vykup-elektriny-z-mikrozdroju/>
- [37] Informace a výpočty baterií FV. *Battery Charger CZ* [online]. [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: [https://www.bch-battery.cz/Informace-a-vypocty-baterii-FV-c2\\_359\\_2.htm](https://www.bch-battery.cz/Informace-a-vypocty-baterii-FV-c2_359_2.htm)
- [38] EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST INVESTIC. *Tzbinfo* [online]. [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/2786-vypoctova-pomucka-ekonomicka-efektivnost-investic-ii>
- [39] Diskontní sazba - Úrokové sazby ČNB. *Kurzycz* [online]. [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/ekonomika/sazby-cnb/diskontni/>

## 17 Seznam obrázků

Obrázek 2-1: Princip fotovoltaického jevu [1].....	13
Obrázek 2-2: Porovnání monokrystalického (vlevo) a polykrystalického (vpravo) článku [3].....	14
Obrázek 2-3: Cesta od křemíkové destičky k FV generátoru [1].....	15
Obrázek 2-4: Princip symetrického a asymetrického střídače [7].....	17
Obrázek 2-5: Vliv sklonu a orientace panelu na účinnost panelu [9].....	17
Obrázek 3-1: Porovnání oddělené výroby tepla a elektřiny s KVET [11].....	19
Obrázek 4-1: Intenzita solárního záření v České republice [16].....	20
Obrázek 6-1: Pohled na penzion Chmelnice.....	26
Obrázek 6-2: Katastrální mapa okolí penzionu Chmelnice.....	27
Obrázek 6-3: Kogenerační jednotky v kotelně penzionu Chmelnice.....	27
Obrázek 6-4: Pohled ze západní části střechy na východ.....	28
Obrázek 6-5: Pohled na východní část střechy přistavěného patra.....	29
Obrázek 6-6: Pohled na severozápad ze spodní části střechy.....	29
Obrázek 9-1: Parametry vybraného solárního panelu [příloha 5].....	45
Obrázek 9-2: Rozměry vybraného solárního panelu [příloha 5].....	45
Obrázek 11-1: Návrh rozložení FV panelů na střeše penzionu Chmelnice.....	57

## 18 Seznam tabulek

Tabulka 5-1: Služba virtuální baterie - E.ON a ČEZ, převzato z [33].....	24
Tabulka 6-1: Spotřeba elektřiny a tepla v penzionu Chmelnice v roce 2022.....	30
Tabulka 6-2: Provoz KJ v roce 2022 a minimální odběr tepla z KJ daný smlouvou....	32
Tabulka 6-3: Roční provoz plynového kotle – spotřeba zemního plynu.....	35
Tabulka 10-1: Shrnutí variant řešení 1-4.....	48
Tabulka 11-1: Červenec - intenzita solárního záření.....	50
Tabulka 11-2: Celkový zisk elektrické energie Variant 1-4.....	54
Tabulka 13-1: Celkové roční platby za konkrétní komodity.....	60
Tabulka 13-2: Ceník a platba za odběr elektřiny z vnější sítě.....	61
Tabulka 13-3: Měsíční shrnutí přebytků elektřiny ve Variantě A.....	64
Tabulka 13-4: Varianta A – roční platba a úspora.....	64

Tabulka 13-5: Měsíční shrnutí přebytků elektřiny ve Variantě B.....	66
Tabulka 13-6: Varianta B1 a B2 – roční platba a úspora .....	66
Tabulka 13-7: Investiční náklady .....	67
Tabulka 13-8: Vstupní hodnoty pro ekonomické zhodnocení Variant A, B1, B2.....	68
Tabulka 13-9: Kumulované Cash Flow Varianty A.....	69
Tabulka 13-10: Kumulované Cash Flow Varianty B1 .....	71
Tabulka 13-11: Kumulované Cash Flow Varianty B2 .....	73

## 19 Seznam grafů

Graf 6-1: Celková spotřeba elektřiny v roce 2022.....	31
Graf 6-2: Roční provoz kogeneračních jednotek - průměrné provozní hodiny.....	33
Graf 6-3: Roční provoz kogeneračních jednotek - průměrný denní výkon.....	34
Graf 6-4: Roční provoz plynového kotle - spotřeba zemního plynu .....	35
Graf 7-1: Spotřeba TUV, 28. 4. 2022.....	36
Graf 7-2: Spotřeba elektřiny, 28. 4. 2022.....	37
Graf 7-3: Spotřeba TUV, 12. 3. 2022.....	38
Graf 7-4: Spotřeba elektřiny, 12. 3. 2022.....	38
Graf 7-5: Spotřeba TUV, 21. 10. 2022 .....	39
Graf 7-6: Spotřeba elektřiny, 21. 10. 2022 .....	39
Graf 7-7: Spotřeba TUV, shrnutí .....	40
Graf 7-8: Spotřeba elektřiny, shrnutí.....	41
Graf 7-9: Spotřeba elektřiny, průměrný červencový den.....	42
Graf 8-1: Porovnání databází PVGIS a HelioClim - červenec.....	43
Graf 8-2: Porovnání databází PVGIS a HelioClim - prosinec.....	44
Graf 11-1: Varianta 1, průměrný červencový den .....	51
Graf 11-2: Varianta 2, průměrný červencový den .....	51
Graf 11-3: Varianta 3, průměrný červencový den .....	52
Graf 11-4: Varianta 4, průměrný červencový den .....	52
Graf 11-5: Srovnání variant v průměrném červencovém dnu .....	53
Graf 11-6: Srovnání variant v průměrném prosincovém dnu .....	53
Graf 11-7: Roční srovnání Variant 1-4.....	55
Graf 11-8: Zisk elektrické energie za 1 rok, Varianta 2 .....	56

Graf 12-1: Porovnání spotřeby elektřiny s FVE, průměrný červencový den.....	58
Graf 12-2: Porovnání spotřeby elektřiny s FVE, 28. 4. 2022 .....	59
Graf 13-1: Průměrný červencový den - Varianta A .....	63
Graf 13-2: Průměrný červencový den - Varianta B .....	65
Graf 13-3: Varianta A - stav návratnosti investice .....	70
Graf 13-4: Varianta B1 - stav návratnosti investice.....	72
Graf 13-5: Varianta B2 - stav návratnosti investice.....	74

## **20 Přílohy**

Příloha 1	Odečty spotřeby elektrické energie a TUV
Příloha 2	Dodané množství elektrické energie v jeden průměrný den každého měsíce
Příloha 3	Grafy srovnání variant ostatních měsíců
Příloha 4	Porovnání simulované spotřeby elektřiny s FVE
Příloha 5	DataSheet Vertex TRINA Solar TSM-DE18M(II)

## Příloha 1 – Odečty spotřeby elektrické energie a TUV

čas	Spotřeba TUV			Celková spotřeba elektřiny		
	12.3.	28.4	21.10	12.3.	28.4	21.10
0:15:00	0,00	0,00	0,00	5,72	4,41	5,47
0:30:00	0,00	0,00	0,00	5,72	4,41	5,47
0:45:00	0,01	0,10	0,01	5,72	4,41	5,47
1:00:00	0,01	0,05	0,00	5,85	5,79	5,35
1:15:00	0,01	0,07	0,01	5,85	5,79	5,35
1:30:00	0,03	0,02	0,01	5,85	5,79	5,35
1:45:00	0,02	0,02	0,02	5,85	5,79	5,35
2:00:00	0,02	0,03	0,01	5,59	5,66	5,35
2:15:00	0,02	0,16	0,01	5,59	5,66	5,35
2:30:00	0,01	0,01	0,01	5,59	5,66	5,35
2:45:00	0,04	0,03	0,02	5,59	5,66	5,35
3:00:00	0,05	0,01	0,05	5,85	5,78	5,47
3:15:00	0,06	0,01	0,05	5,85	5,78	5,47
3:30:00	0,01	0,10	0,04	5,85	5,78	5,47
3:45:00	0,02	0,00	0,15	5,85	5,78	5,47
4:00:00	0,02	0,03	0,02	5,07	5,67	5,11
4:15:00	0,02	0,05	0,02	5,07	5,67	5,11
4:30:00	0,03	0,20	0,02	5,07	5,67	5,11
4:45:00	0,08	0,08	0,15	5,07	5,67	5,11
5:00:00	0,11	0,00	0,05	5,85	5,66	5,35
5:15:00	0,04	0,06	0,05	5,85	5,66	5,35
5:30:00	0,08	0,16	0,04	5,85	5,66	5,35
5:45:00	0,04	0,05	0,09	5,85	5,66	5,35
6:00:00	0,07	0,08	0,10	5,98	5,53	5,23
6:15:00	0,13	0,24	0,09	5,98	5,53	5,23
6:30:00	0,08	0,16	0,03	5,98	5,53	5,23
6:45:00	0,10	0,15	0,09	5,98	5,53	5,23
7:00:00	0,27	0,18	0,07	5,98	4,90	4,64
7:15:00	0,11	0,20	0,05	5,98	4,90	4,64
7:30:00	0,06	0,14	0,18	5,98	4,90	4,64
7:45:00	0,11	0,16	0,15	5,98	4,90	4,64
8:00:00	0,17	0,14	0,18	4,55	4,65	4,40
8:15:00	0,25	0,11	0,23	4,55	4,65	4,40
8:30:00	0,23	0,12	0,19	4,55	4,65	4,40
8:45:00	0,51	0,19	0,32	4,55	4,65	4,40
9:00:00	0,37	0,26	0,22	4,55	4,27	4,04
9:15:00	0,41	0,23	0,12	4,55	4,27	4,04
9:30:00	0,23	0,19	0,16	4,55	4,27	4,04
9:45:00	0,15	0,23	0,25	4,55	4,27	4,04
10:00:00	0,09	0,16	0,31	4,16	4,40	4,16
10:15:00	0,10	0,13	0,09	4,16	4,40	4,16

čas	Spotřeba TUV			Odběr elektřiny z vnější sítě		
	12.3.	28.4	21.10	12.3.	28.4	21.10
10:30:00	0,15	0,14	0,15	4,16	4,40	4,16
10:45:00	0,19	0,15	0,28	4,16	4,40	4,16
11:00:00	0,24	0,13	0,37	4,16	4,02	3,81
11:15:00	0,35	0,29	0,21	4,16	4,02	3,81
11:30:00	0,24	0,24	0,21	4,16	4,02	3,81
11:45:00	0,29	0,20	0,15	4,16	4,02	3,81
12:00:00	0,17	0,20	0,17	4,03	4,02	3,81
12:15:00	0,18	0,08	0,20	4,03	4,02	3,81
12:30:00	0,18	0,17	0,28	4,03	4,02	3,81
12:45:00	0,28	0,20	0,11	4,03	4,02	3,81
13:00:00	0,17	0,09	0,17	4,16	4,53	3,69
13:15:00	0,31	0,10	0,11	4,16	4,53	3,69
13:30:00	0,11	0,22	0,26	4,16	4,53	3,69
13:45:00	0,25	0,16	0,15	4,16	4,53	3,69
14:00:00	0,28	0,03	0,23	4,81	3,90	4,28
14:15:00	0,17	0,07	0,23	4,81	3,90	4,28
14:30:00	0,31	0,08	0,23	4,81	3,90	4,28
14:45:00	0,12	0,15	0,12	4,81	3,90	4,28
15:00:00	0,38	0,04	0,22	4,42	4,03	5,11
15:15:00	0,07	0,15	0,19	4,42	4,03	5,11
15:30:00	0,09	0,20	0,40	4,42	4,03	5,11
15:45:00	0,16	0,15	0,27	4,42	4,03	5,11
16:00:00	0,25	0,19	0,33	4,81	5,41	5,35
16:15:00	0,16	0,18	0,45	4,81	5,41	5,35
16:30:00	0,24	0,16	0,41	4,81	5,41	5,35
16:45:00	0,21	0,15	0,28	4,81	5,41	5,35
17:00:00	0,25	0,22	0,32	5,59	5,41	4,16
17:15:00	0,23	0,44	0,20	5,59	5,41	4,16
17:30:00	0,10	0,28	0,43	5,59	5,41	4,16
17:45:00	0,36	0,47	0,26	5,59	5,41	4,16
18:00:00	0,34	0,29	0,49	5,85	5,67	3,81
18:15:00	0,20	0,30	0,16	5,85	5,67	3,81
18:30:00	0,28	0,32	0,23	5,85	5,67	3,81
18:45:00	0,24	0,14	0,13	5,85	5,67	3,81
19:00:00	0,23	0,22	0,36	5,07	4,66	3,93
19:15:00	0,18	0,13	0,24	5,07	4,66	3,93
19:30:00	0,18	0,26	0,27	5,07	4,66	3,93
19:45:00	0,19	0,16	0,25	5,07	4,66	3,93
20:00:00	0,34	0,34	0,21	4,68	4,53	4,40
20:15:00	0,42	0,19	0,20	4,68	4,53	4,40
20:30:00	0,31	0,52	0,19	4,68	4,53	4,40

čas	Spotřeba TUV			Odběr elektřiny z vnější sítě		
	12.3.	28.4	21.10	12.3.	28.4	21.10
20:45:00	0,44	0,28	0,25	4,68	4,53	4,40
21:00:00	0,24	0,16	0,18	5,07	4,16	4,28
21:15:00	0,40	0,19	0,23	5,07	4,16	4,28
21:30:00	0,30	0,19	0,21	5,07	4,16	4,28
21:45:00	0,12	0,28	0,21	5,07	4,16	4,28
22:00:00	0,22	0,26	0,22	4,29	4,90	4,64
22:15:00	0,23	0,12	0,25	4,29	4,90	4,64
22:30:00	0,41	0,22	0,33	4,29	4,90	4,64
22:45:00	0,38	0,41	0,29	4,29	4,90	4,64
23:00:00	0,29	0,18	0,11	4,68	4,90	4,64
23:15:00	0,11	0,03	0,09	4,68	4,90	4,64
23:30:00	0,07	0,01	0,10	4,68	4,90	4,64
23:45:00	0,14	0,03	0,09	4,68	4,90	4,64
0:00:00	0,24	0,04	0,07	5,72	4,41	5,47



**Příloha 2 – Dodané množství elektrické energie v jeden průměrný den každého měsíce**

Varianta 1:

[Wh]	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	62	1772	2541	1795	333	0	0	0	0
6:00	0	0	67	3224	6313	7241	6316	3978	1320	0	0	0
7:00	0	16	3187	8768	12034	13331	12350	9571	6532	2329	0	0
8:00	238	3171	8078	15124	17877	19349	18868	15871	12090	6745	2432	170
9:00	3628	7335	12928	20894	23098	24969	24249	21616	17328	10760	5508	3423
10:00	6246	10140	16469	24850	26649	28225	27752	25438	20653	13153	7494	5684
11:00	7506	11766	17751	26434	27079	28813	29310	27057	22275	15051	8620	7024
12:00	7867	12862	18642	26796	27293	29290	28759	27534	22344	15079	8532	7654
13:00	7535	11392	16713	25580	25996	28267	27729	25898	21057	13481	7790	6444
14:00	5565	10058	15171	22536	23005	25195	24621	22818	18171	11443	6108	4629
15:00	3548	7338	12127	17964	18989	21564	21365	18151	13742	7673	3173	2043
16:00	391	3745	8318	13411	15038	17547	17229	14246	9278	3766	168	0
17:00	0	199	3628	7665	9981	12223	12261	9246	4329	187	0	0
18:00	0	0	44	2454	4940	6855	6818	3944	358	0	0	0
19:00	0	0	0	0	807	2342	2237	260	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>max.</b>	<b>7867</b>	<b>12862</b>	<b>18642</b>	<b>26796</b>	<b>27293</b>	<b>29290</b>	<b>29310</b>	<b>27534</b>	<b>22344</b>	<b>15079</b>	<b>8620</b>	<b>7654</b>
<b>celkem</b>	<b>42524</b>	<b>78022</b>	<b>133122</b>	<b>215764</b>	<b>240871</b>	<b>267751</b>	<b>261660</b>	<b>225960</b>	<b>169475</b>	<b>99666</b>	<b>49826</b>	<b>37071</b>

Varianta 2:

[Wh]	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	61	1697	2468	1733	313	0	0	0	0
6:00	0	0	66	3181	6251	7161	6240	3931	1287	0	0	0
7:00	0	16	3211	8818	12042	13308	12331	9596	6618	2362	0	0
8:00	245	3270	8232	15301	17989	19424	18954	16012	12303	6929	2524	177
9:00	3795	7576	13190	21203	23313	25150	24444	21881	17662	11051	5707	3612
10:00	6482	10427	16811	25251	26937	28478	28023	25793	21063	13497	7749	5927
11:00	7761	12094	18114	26867	27378	29087	29615	27444	22723	15454	8899	7309
12:00	8125	13223	19030	27238	27593	29569	29054	27924	22789	15480	8791	7976
13:00	7789	11711	17057	25990	26267	28524	28006	26251	21473	13851	8053	6708
14:00	5762	10345	15479	22873	23215	25393	24835	23104	18521	11767	6325	4836
15:00	3713	7565	12373	18199	19130	21693	21513	18344	13983	7892	3303	2146
16:00	401	3871	8479	13542	15099	17590	17293	14354	9416	3851	169	0
17:00	0	198	3657	7690	9955	12177	12232	9258	4334	184	0	0
18:00	0	0	42	2363	4858	6747	6721	3866	342	0	0	0
19:00	0	0	0	0	755	2223	2111	252	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>max.</b>	<b>8125</b>	<b>13223</b>	<b>19030</b>	<b>27238</b>	<b>27593</b>	<b>29569</b>	<b>29615</b>	<b>27924</b>	<b>22789</b>	<b>15480</b>	<b>8899</b>	<b>7976</b>
<b>celkem</b>	<b>44073</b>	<b>80296</b>	<b>135741</b>	<b>218578</b>	<b>242481</b>	<b>268993</b>	<b>263105</b>	<b>228323</b>	<b>172515</b>	<b>102319</b>	<b>51519</b>	<b>38691</b>

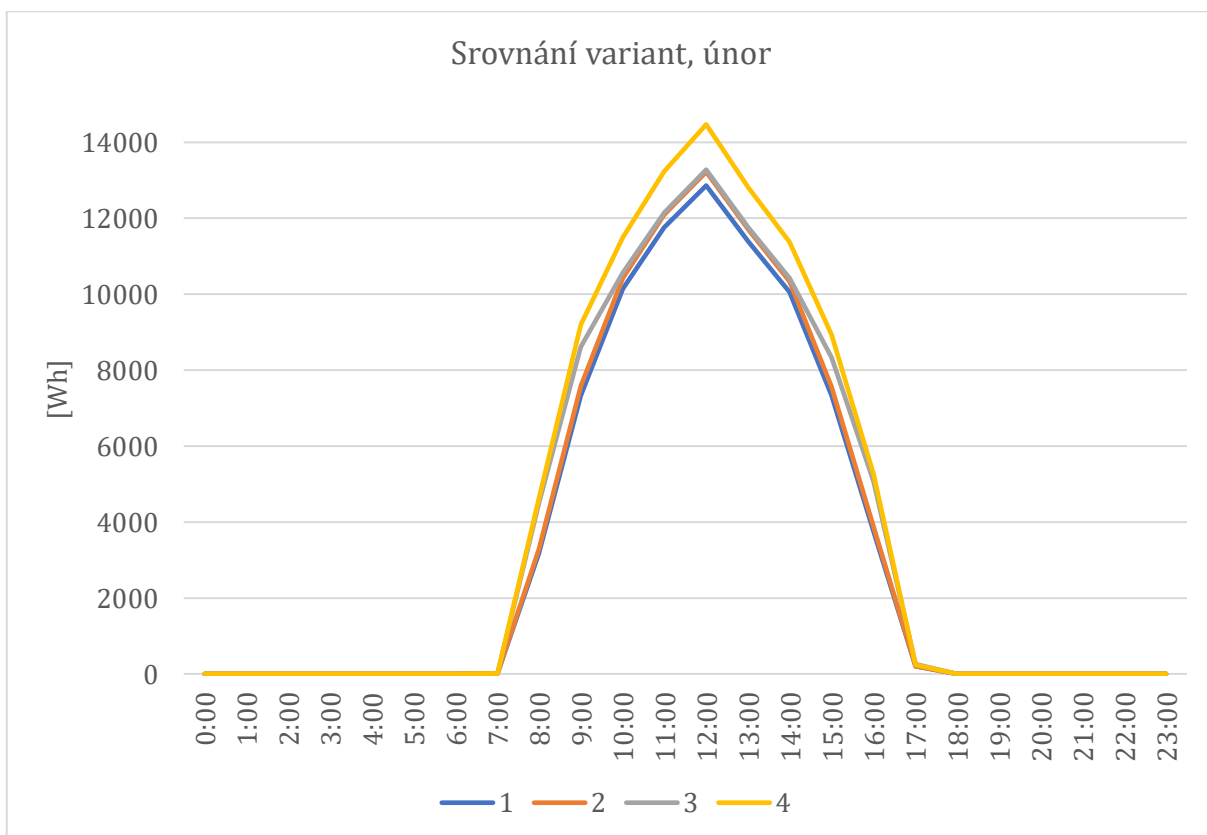
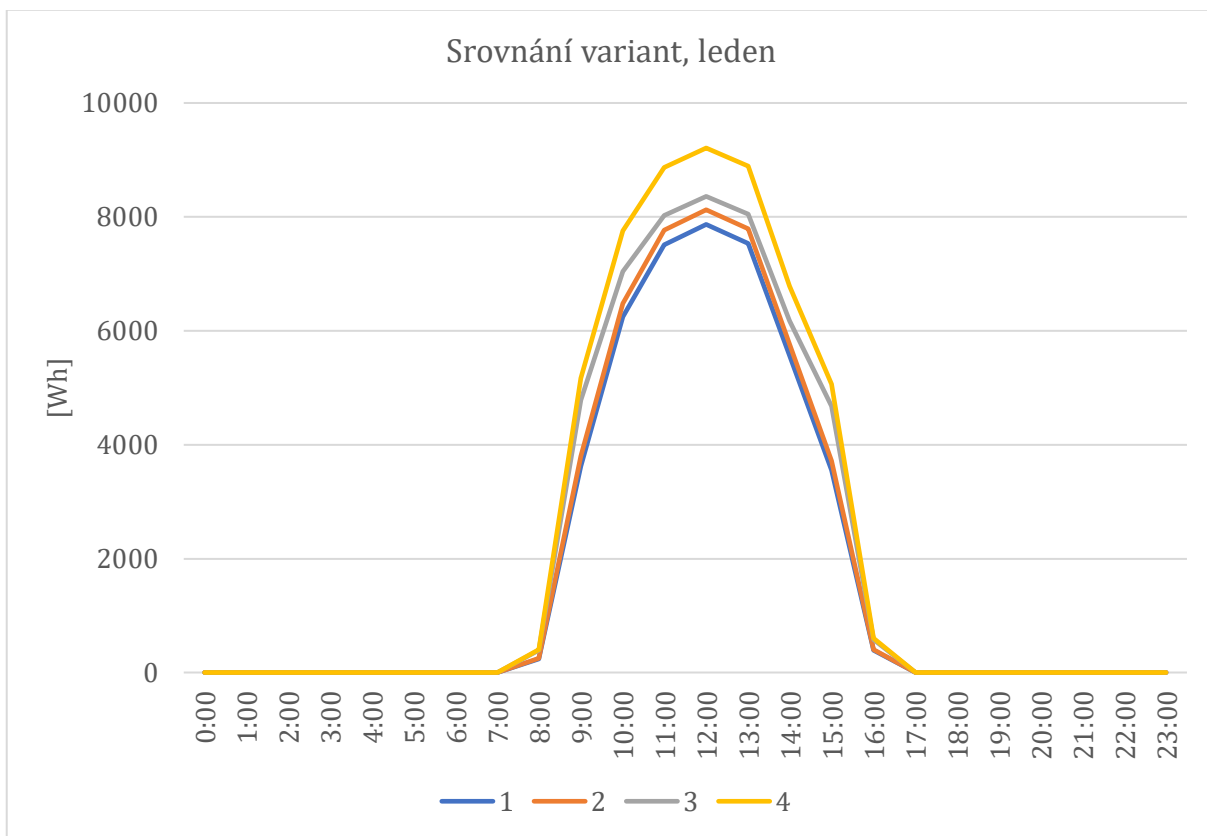
Varianta 3:

[Wh]	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	66	2160	2969	2075	437	0	0	0	0
6:00	0	0	71	3976	6774	7327	6611	4664	1727	0	0	0
7:00	0	17	4251	9703	11904	12735	12096	10146	8013	3204	0	0
8:00	390	4484	9213	15244	16524	17569	17291	15520	12994	8015	3382	289
9:00	4785	8610	13255	19995	21516	23010	22434	20432	17030	11417	6439	4687
10:00	7038	10571	16377	23909	25031	26258	25923	24229	20332	13441	8012	6509
11:00	8022	12155	17616	25501	25538	26925	27515	25861	21946	15396	9122	7716
12:00	8360	13280	18518	25859	25758	27414	27030	26335	22010	15420	8962	8449
13:00	8049	11768	16579	24649	24494	26405	26013	24733	20733	13839	8294	7098
14:00	6179	10432	15052	21637	21572	23423	23008	21711	17868	11972	6967	5588
15:00	4675	8343	12456	17134	17638	19846	19781	17137	13938	8948	4242	3107
16:00	574	5078	9514	13781	14309	15973	15886	14079	10423	5190	224	0
17:00	0	250	4913	8834	10126	11855	12088	10010	5641	240	0	0
18:00	0	0	52	3179	5501	7104	7249	4729	467	0	0	0
19:00	0	0	0	0	1056	2879	2847	282	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>max.</b>	<b>8360</b>	<b>13280</b>	<b>18518</b>	<b>25859</b>	<b>25758</b>	<b>27414</b>	<b>27515</b>	<b>26335</b>	<b>22010</b>	<b>15420</b>	<b>9122</b>	<b>8449</b>
<b>celkem</b>	<b>48072</b>	<b>84989</b>	<b>137867</b>	<b>213468</b>	<b>229899</b>	<b>251694</b>	<b>247848</b>	<b>220306</b>	<b>173123</b>	<b>107083</b>	<b>55646</b>	<b>43443</b>

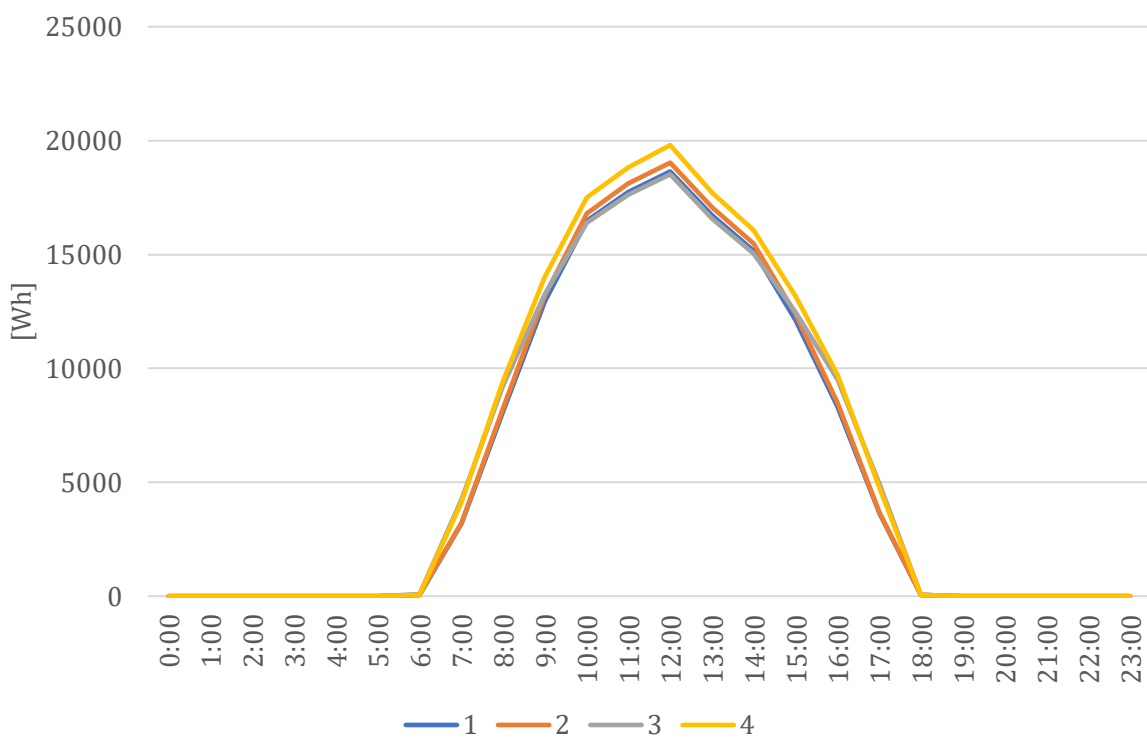
Varianta 4:

[Wh]	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	62	1904	2639	1866	386	0	0	0	0
6:00	0	0	68	3591	6225	6765	6039	4219	1562	0	0	0
7:00	0	17	4112	9469	11652	12423	11747	9866	7867	3188	0	0
8:00	405	4616	9420	15593	16868	17818	17547	15805	13402	8362	3570	309
9:00	5169	9195	14018	21015	22224	23608	23080	21309	18135	12288	6973	5143
10:00	7760	11506	17509	25231	25985	27094	26819	25402	21688	14578	8851	7265
11:00	8867	13238	18817	26932	26524	27829	28520	27140	23425	16728	10042	8655
12:00	9209	14472	19801	27318	26747	28338	28004	27624	23482	16747	9819	9512
13:00	8888	12822	17713	26003	25390	27252	26929	25898	22108	15061	9161	7968
14:00	6783	11378	16069	22750	22267	24077	23714	22656	19024	13001	7585	6177
15:00	5058	8935	13169	17913	18103	20273	20271	17776	14612	9426	4506	3371
16:00	598	5267	9730	13925	14367	16094	16051	14231	10527	5236	226	0
17:00	0	246	4743	8462	9723	11425	11678	9637	5353	228	0	0
18:00	0	0	47	2728	4880	6390	6533	4183	410	0	0	0
19:00	0	0	0	0	932	2541	2498	264	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>max.</b>	<b>9209</b>	<b>14472</b>	<b>19801</b>	<b>27318</b>	<b>26747</b>	<b>28338</b>	<b>28520</b>	<b>27624</b>	<b>23482</b>	<b>16747</b>	<b>10042</b>	<b>9512</b>
<b>celkem</b>	<b>52737</b>	<b>91692</b>	<b>145215</b>	<b>220993</b>	<b>233792</b>	<b>254568</b>	<b>251295</b>	<b>226397</b>	<b>181595</b>	<b>114843</b>	<b>60733</b>	<b>48402</b>

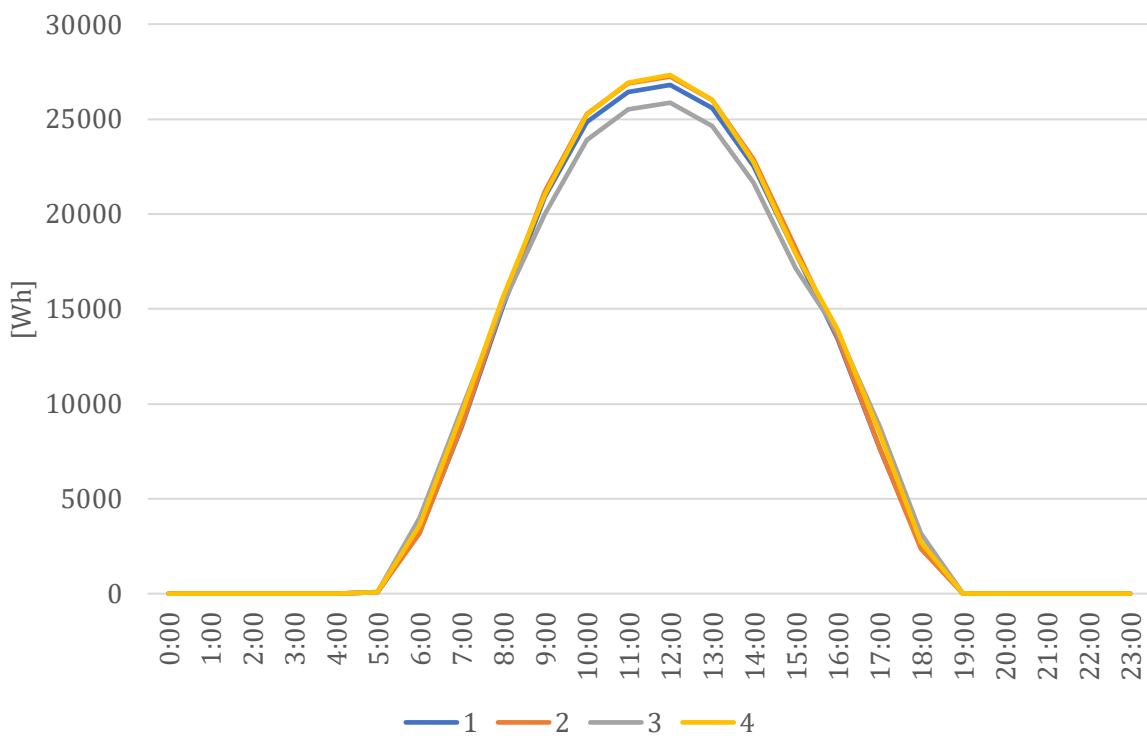
### Příloha 3 – Grafy srovnání variant ostatních měsíců



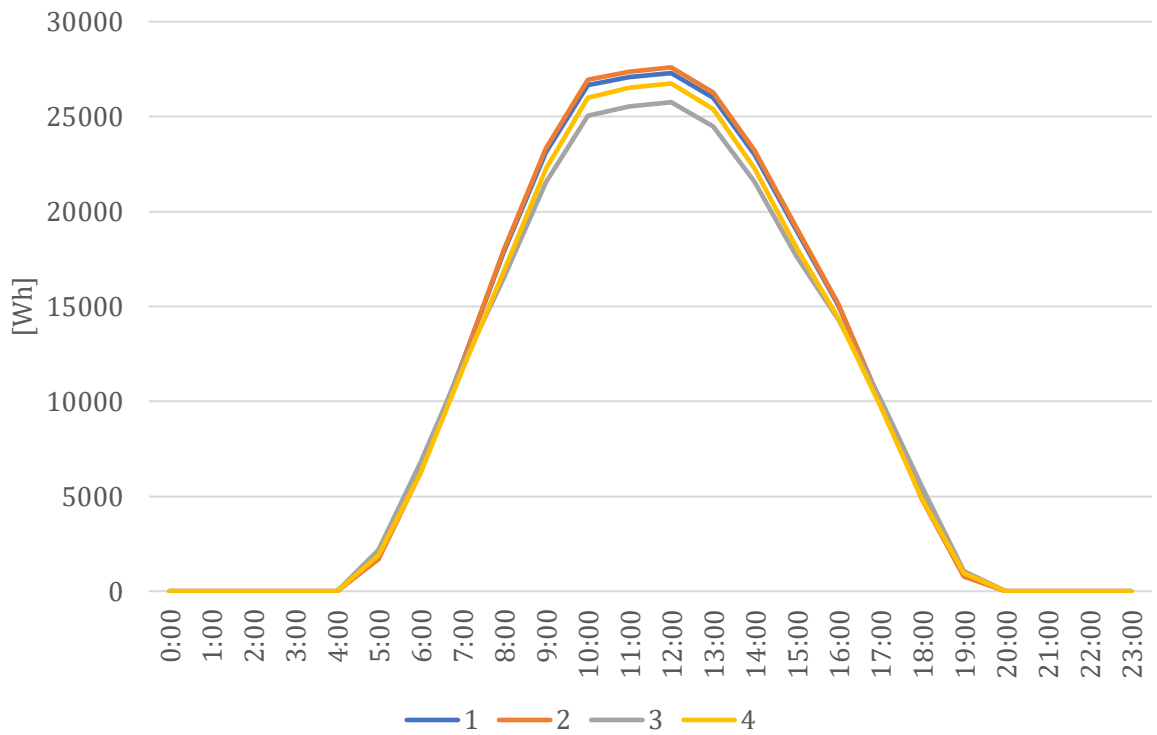
Srovnání variant, březen



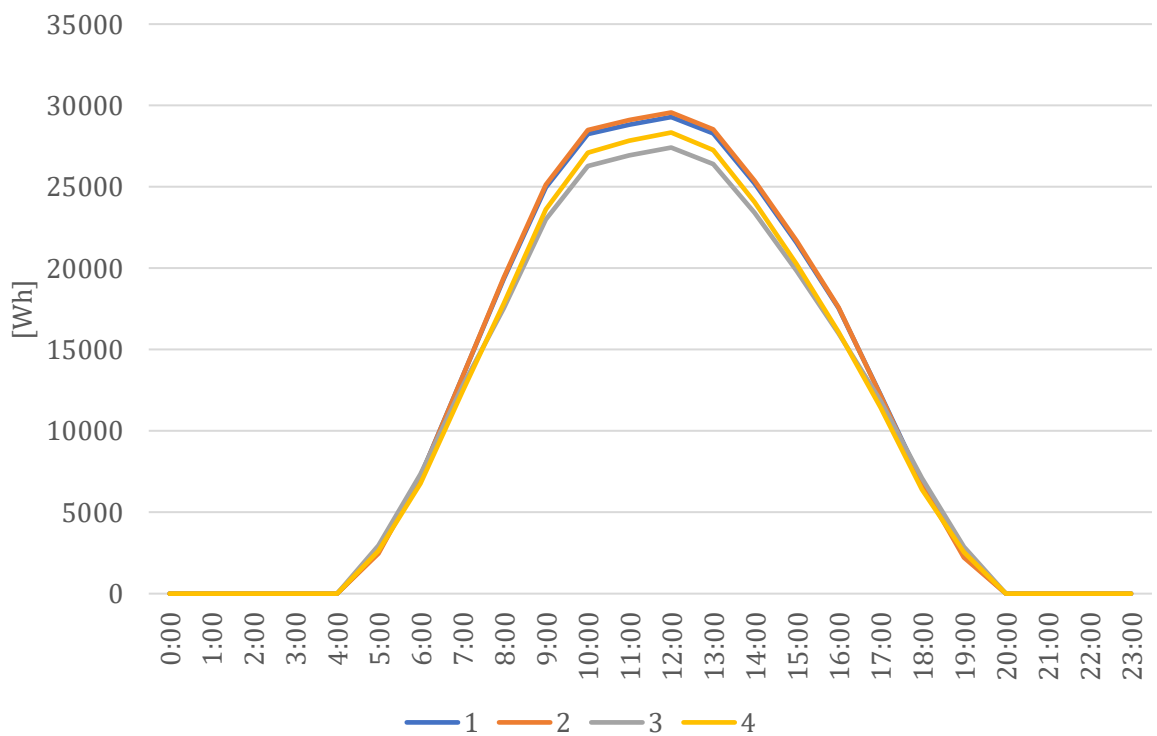
Srovnání variant, duben

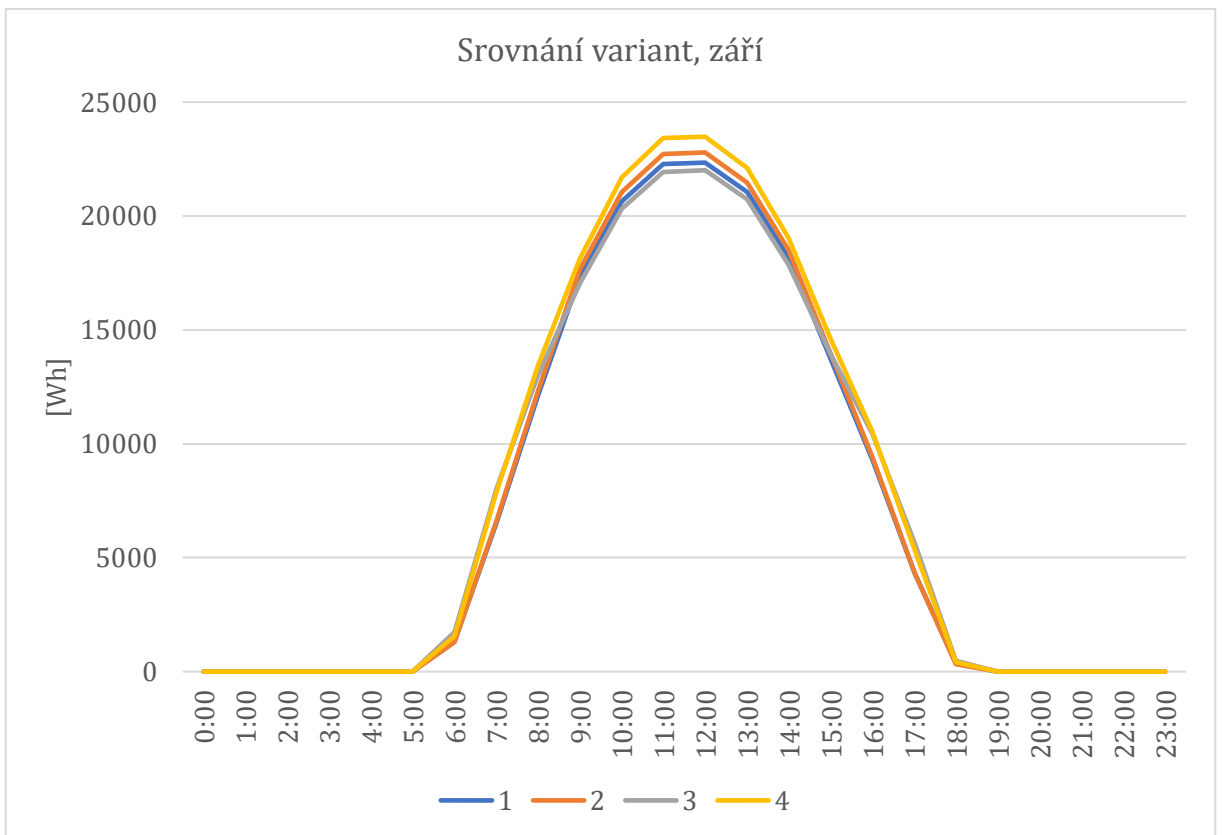
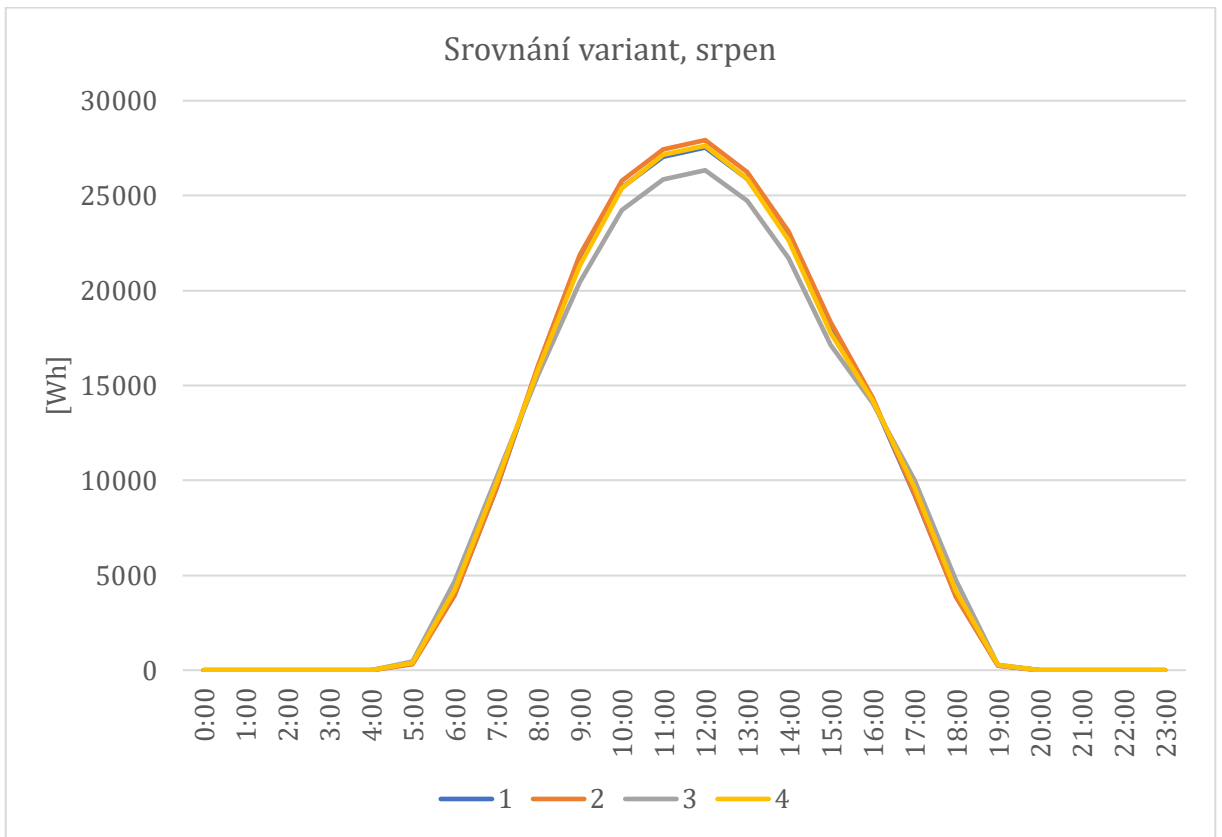


Srovnání variant, květen



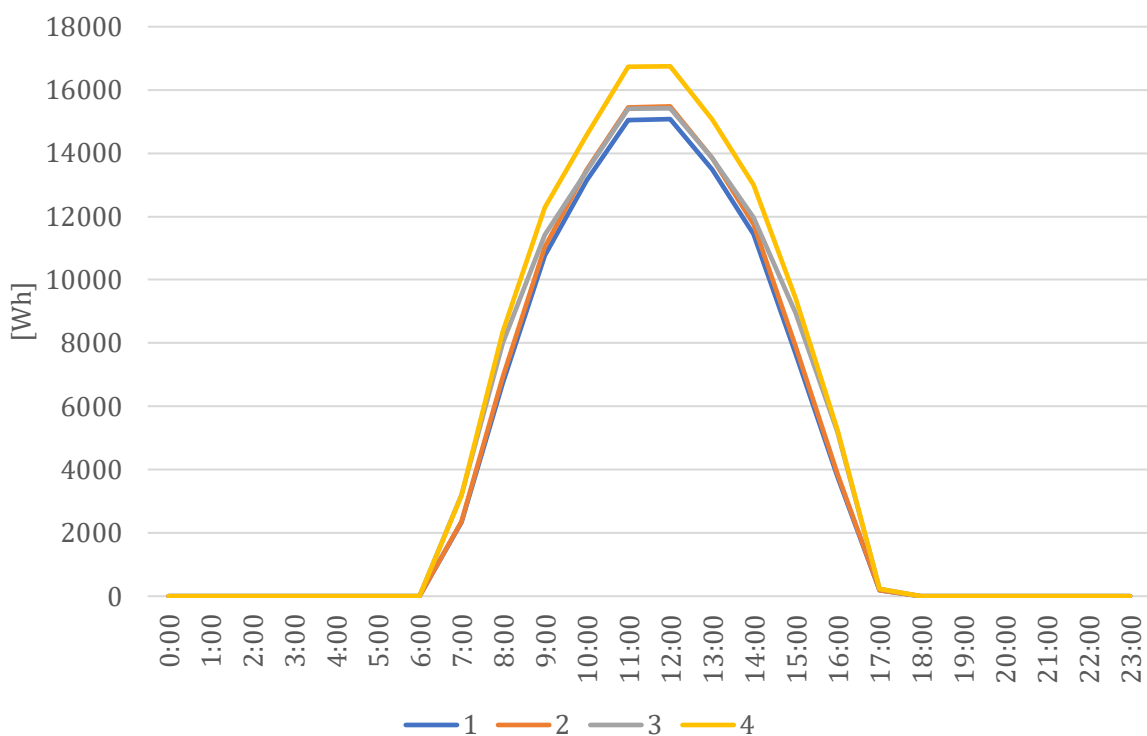
Srovnání variant, červen



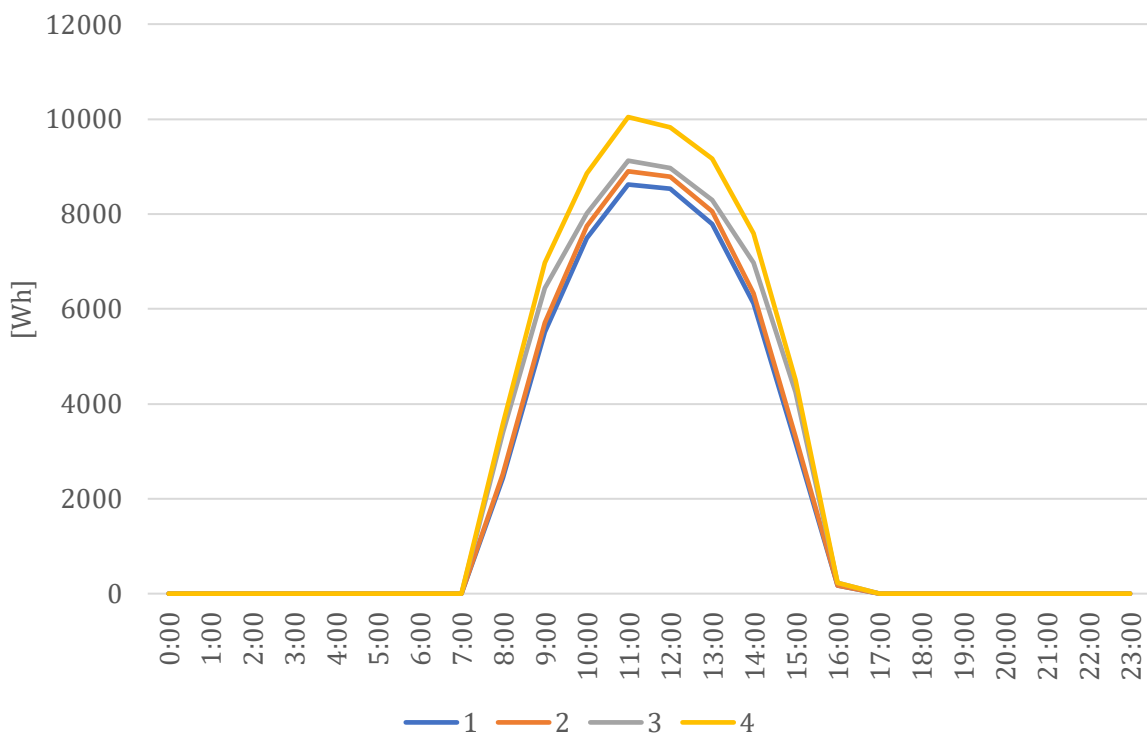




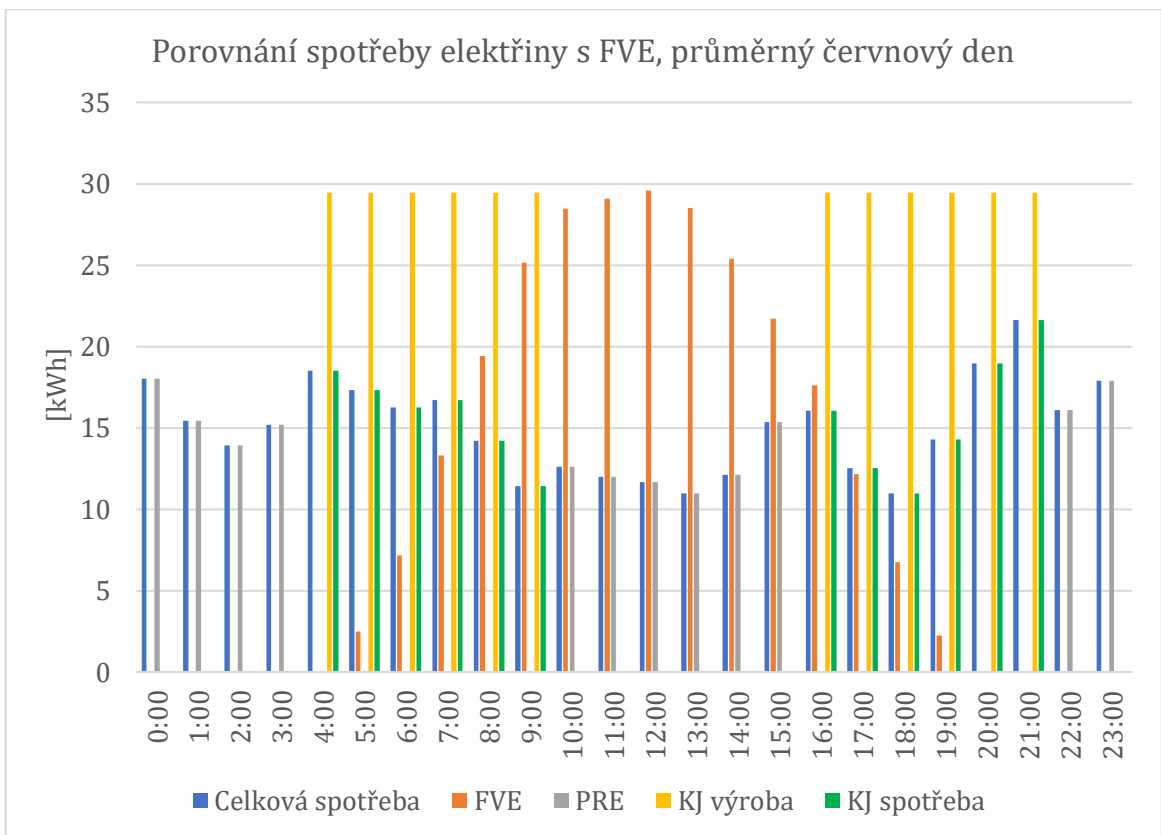
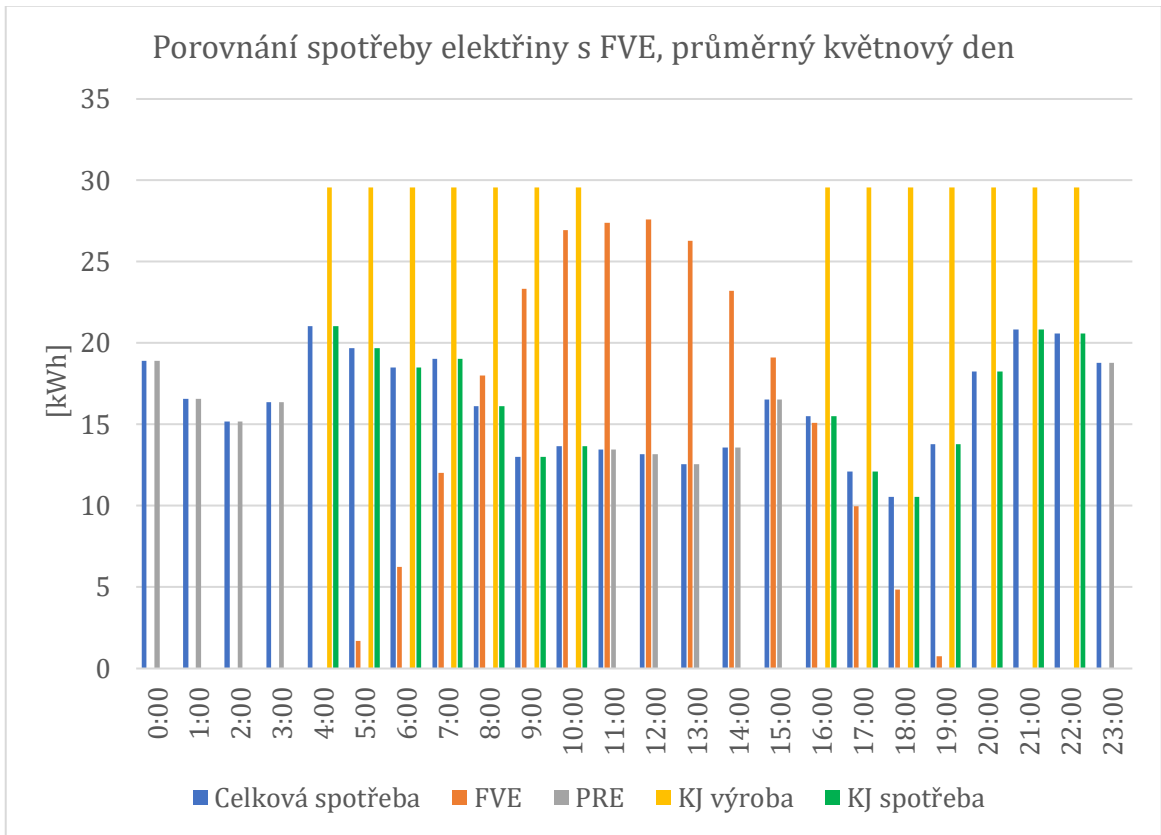
Srovnání variant, říjen



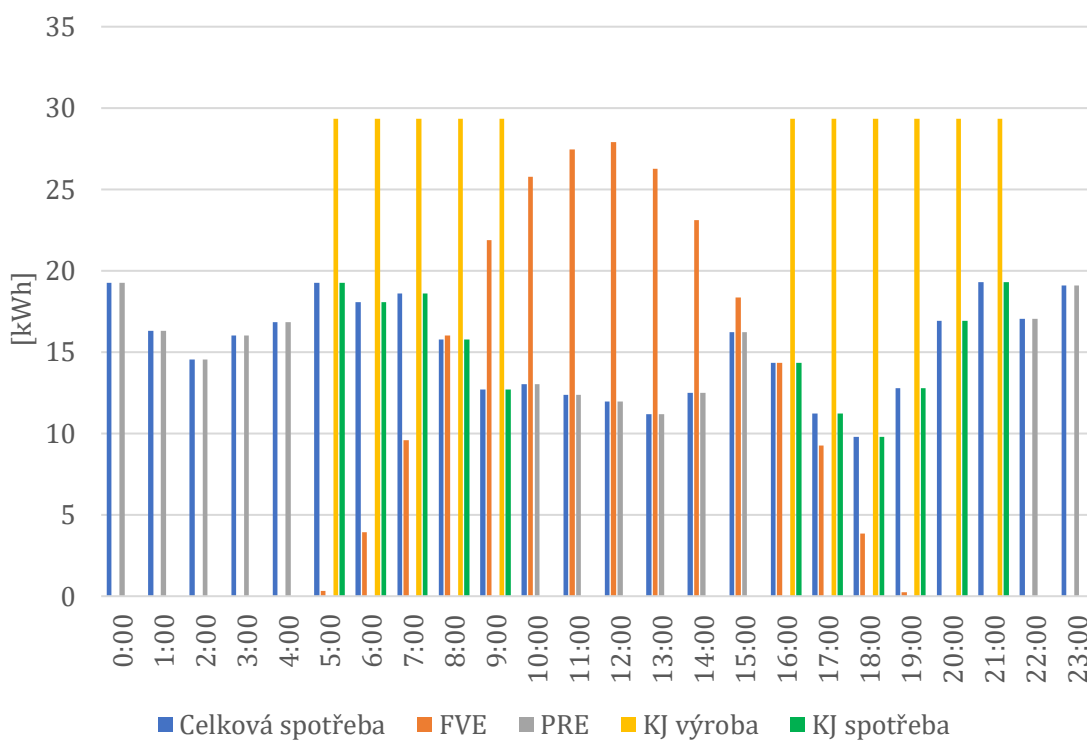
Srovnání variant, listopad



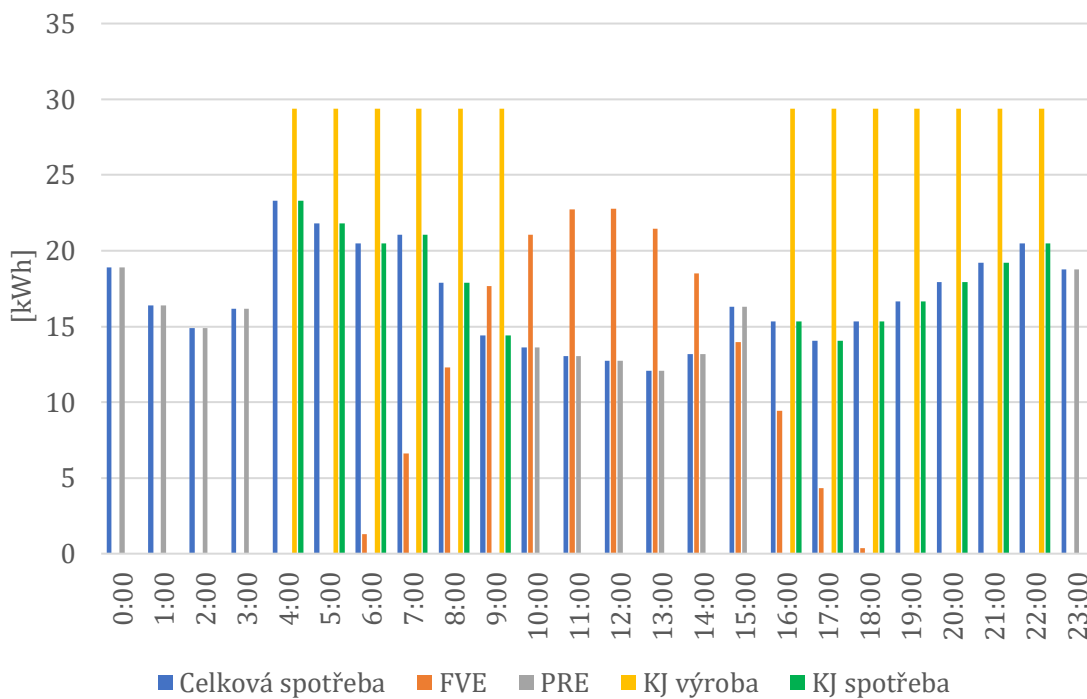
#### Příloha 4 – Porovnání simulované spotřeby elektřiny s FVE



Porovnání spotřeby elektřiny s FVE, průměrný srpnový den



Porovnání spotřeby elektřiny s FVE, průměrný zářijový den (do 19.9.)

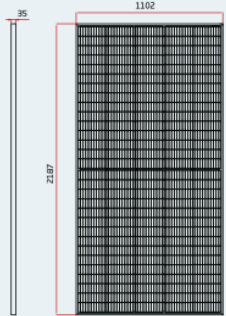


# Príloha 5 – DataSheet Vertex TRINA Solar TSM-DE18M(II)

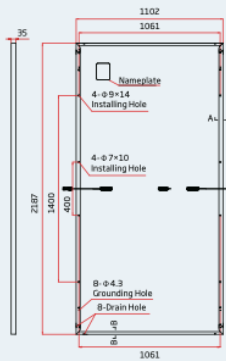


## BACKSHEET MONOCRYSTALLINE MODULE

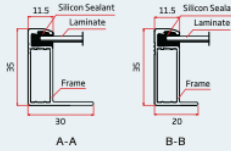
### DIMENSIONS OF PV MODULE(mm)



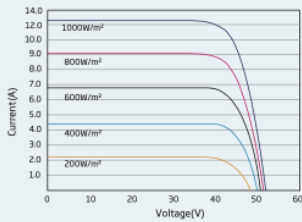
Front View



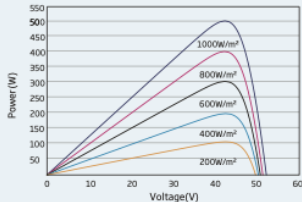
Back View



### I-V CURVES OF PV MODULE(500W)



### P-V CURVES OF PV MODULE(500W)



### ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts- $P_{MAX}$ (Wp)*	485	490	495	500	505	510
Power Tolerance- $P_{MAX}$ (W)	0 ~ +5					
Maximum Power Voltage- $V_{MPP}$ (V)	42.2	42.4	42.6	42.8	43.0	43.2
Maximum Power Current- $I_{MPP}$ (A)	11.49	11.56	11.63	11.69	11.75	11.81
Open Circuit Voltage- $V_{OC}$ (V)	51.1	51.3	51.5	51.7	51.9	52.1
Short Circuit Current- $I_{SC}$ (A)	12.07	12.14	12.21	12.28	12.35	12.42
Module Efficiency $\eta_m$ (%)	20.1	20.3	20.5	20.7	21.0	21.2

STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5.  
\*Measuring tolerance: ±3%.

### ELECTRICAL DATA (NOCT)

Maximum Power- $P_{MAX}$ (Wp)	365	369	373	377	381	385
Maximum Power Voltage- $V_{MPP}$ (V)	39.9	40.0	40.2	40.4	40.6	40.5
Maximum Power Current- $I_{MPP}$ (A)	9.17	9.22	9.28	9.33	9.38	9.50
Open Circuit Voltage- $V_{OC}$ (V)	48.1	48.2	48.4	48.6	48.8	49.0
Short Circuit Current- $I_{SC}$ (A)	9.73	9.78	9.84	9.90	9.95	10.01

NOCT: Irradiance at 800W/m<sup>2</sup>, Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

### MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
Cell Orientation	150 cells
Module Dimensions	2187×1102×35 mm (86.10×43.39×1.38 inches)
Weight	26.3 kg (58.0 lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant Material	EVA
Backsheet	White
Frame	35 mm (1.38 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 6B rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm <sup>2</sup> (0.006 inches <sup>2</sup> ), Portrait: N 280mm/P 280mm(11.02/11.02inches) Length can be customized
Connector	MC4 EVO2 / TS4*

\*Please refer to regional datasheet for specified connector.

### TEMPERATURE RATINGS

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	43°C (±2°C)
Temperature Coefficient of $P_{MAX}$	-0.34%/°C
Temperature Coefficient of $V_{OC}$	-0.25%/°C
Temperature Coefficient of $I_{SC}$	0.04%/°C

### MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40~+85 °C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC)
	1500V DC (UL)
Max Series Fuse Rating	20A

### WARRANTY

12 year Product Workmanship Warranty
25 year Power Warranty
2% first year degradation
0.55% Annual Power Attenuation

(Please refer to product warranty for details)

### PACKAGING CONFIGURATION

Modules per box: 31 pieces
Modules per 40' container: 620 pieces