

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**NÁVRH MALÉ
FOTOVOLTAICKÉ
ELEKTRÁRNY**

2019

**ZDENĚK
PROKOPEC**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Prokopec** Jméno: **Zdeněk** Osobní číslo: **459604**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav energetiky**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Energetika a procesní technika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh malé fotovoltaické elektrárny

Název bakalářské práce anglicky:

Design of a small photovoltaic power plant

Pokyny pro vypracování:

Navrhnete a ekonomicky zhodnotíte projekt malé fotovoltaické elektrárny situované na střeše rodinného domu.

Práce bude obsahovat:

- 1) Rešerši technického řešení a podmínek instalace malých FVE.
- 2) Návrh provedení malé FVE u vybraného objektu.
- 3) Bilanci energetického potenciálu navržené FVE a jeho využití.
- 4) Ekonomické vyhodnocení návrhu.

Seznam doporučené literatury:

Murtinger K.: Úsporný rodinný dům, Grada 2013

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Tomáš Dlouhý, CSc., ústav energetiky FS


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

Datum zadání bakalářské práce: **17.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **05.06.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2020**


doc. Ing. Tomáš Dlouhý, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce


podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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


Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s tím, že její výsledky mohou být dále použity podle uvážení vedoucího bakalářské práce jako jejího spoluautora. Souhlasím také s případnou publikací výsledků bakalářské práce nebo její podstatné části, pokud budu uveden jako její spoluautor.

Dne

Podpis

Anotační list

Jméno autora:	Zdeněk Prokopec
Název BP:	Návrh malé fotovoltaické elektrárny
Anglický název:	Design of a small photovoltaic power plant
Akademický rok:	2018/2019
Ústav/Odbor:	Ústav energetiky/ Energetika a procesní technika
Vedoucí BP:	Doc. Ing. Tomáš Dlouhý, CSc.
Bibliografické údaje:	Počet stran: 63 Počet obrázků: 22 Počet grafů: 16 Počet tabulek: 22 Počet příloh: 3
Klíčová slova:	Návrh, fotovoltaická elektrárna, rodinný dům, HFVE
Keywords:	Photovoltaic, power plant, design
Anotace:	Bakalářská práce obsahuje návrh hybridní fotovoltaické elektrárny na konkrétní objekt pro účel krytí a snížení spotřeb koncového uživatele. Práce dále obsahuje popis realizace za pomoci několika výpočtových metod společně s grafickou vizualizací celé fotovoltaické elektrárny na rodinném domě. Závěr práce obsahuje ekonomické zhodnocení celé realizace výstavby společně s citlivostní analýzou.
Abstract:	Bachelor thesis contains a small photovoltaic power plant design to cover the electricity demand for the family house. The thesis contains a description of the methods of calculation together with graphic visualizations of solar PV on the family house indeed. The thesis conclusion summarise economic evaluation of project.

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat všem, kteří mi při vytváření této práce pomáhali. Především děkuji svému vedoucímu bakalářské práce, doc. Ing. Tomáši Dlouhému, PhD. za věnovaný čas a cenné připomínky, dále spolupracovníkům z Pražské Energetiky za pomoc při realizaci této práce, zejména Petru Střelci za technickou podporu.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Typy FVE.....	2
2.1	On-Grid FVE bez akumulace	3
2.1.1	Průběh instalace FVE bez akumulace	3
2.2	On-Grid FVE s akumulací do vody	4
2.2.1	Průběh instalace FVE s akumulací do vody	4
2.3	On-Grid FVE s akumulací do baterií	5
2.3.1	Průběh instalace FVE s akumulací do baterií	5
3	Objekt a jeho Energetická náročnost.....	6
3.1	Popis budovy.....	6
3.1.1	Střecha	7
3.1.2	Situační plán rodinného domu	7
3.2	Optimální orientace a sklon FVE.....	9
3.3	Spotřeby energií [kWh]	10
3.3.1	Roční spotřeby energií [kWh]	10
3.3.2	Měsíční spotřeby elektřiny za fakturační období 2017.....	11
3.3.3	Denní spotřeba elektřiny v průběhu dne pro červenec 2017	12
3.3.4	Čas spínání nízkého a vysokého tarifu	12
4	Klimatické podmínky	13
4.1	Měsíční úhrn slunečního svitu dle PVGIS [kWh/m ²].....	14
4.2	Denní úhrn slunečního záření dle PVGIS [W/m ²].....	15
4.2.1	Červenec	15
4.3	Územní teploty v průběhu roku 2017 [°C]	16
4.4	Doba trvání slunečního svitu [hod].....	17
5	Dimenzování fotovoltaické elektrárny	18
5.1.1	Fotovoltaický článek	18
5.2	Dimenzování On-Grid FVE dle PVGIS	19
5.2.1	Roční produkce 1 ks FV panelů orientovaných na jih, západ, východ	20
5.2.2	Rozdíl roční produkce elektřiny 1 ks panelu v závislosti na sklonu FV panelů orientovaných na jih	21
5.3	Výpočet dle ČSN EN 15316-4-6	22

5.3.1	Výpočty pro sklon 43°	22
5.3.2	Výpočty pro optimální sklon FVE 35°	24
5.4	Výpočet dle orientační plochy střechy.....	25
5.5	Bilanční výpočet ročních přínosů FV instalací.....	25
5.6	Srovnání výpočtových metod	29
6	Návrh vhodné technologie FVE	31
6.1	Fotovoltaické panely	31
6.2	Měnič DC/AC	32
6.2.1	GoodWE GW3648-EM pro FVE s akumulací do baterií.....	33
6.3	Bateriové uložení	33
6.3.1	Bateriové uložení Pylontech LiFePO4	33
7	Model výstavby HFVE.....	34
7.1	HFVE (5,58 kWp, 18 panelů, sklon 43°) s akumulací do baterií	34
7.1.1	Model FVE v RD.....	35
7.1.2	Východní strana.....	35
7.1.3	Jižní strana	36
7.1.4	Západní strana.....	36
7.1.5	Funkce instalované HFVE.....	37
8	Ekonomické zhodnocení	38
8.1	Nová zelená úsporám C.3.7	38
8.1.1	Podmínky podoblasti podpory C.3.4, C.3.5, C.3.6, C.3.7 – fotovoltaické systémy propojené s distribuční soustavou	38
8.1.2	Podoblast podpory C.3.7 – FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 4\,000\text{ kWh.rok}^{-1}$	39
8.1.3	Výše podpory pro podoblast podpory C.3.7.....	39
8.2	Náklady.....	40
8.3	Doba návratnosti	41
8.4	Citlivostní analýza	42
8.4.1	Bez uvažování zvyšující se ceny za elektřinu	42
8.4.2	Uvažování růstu cen za elektřinu.....	43
8.4.3	Uvažování růstu cen za elektřinu a výměnu komponent FVE	44
8.4.4	Tok financí v budoucích 25 letech	45
9	Závěr.....	46

Seznam obrázků.....	47
Seznam grafů	48
Seznam tabulek.....	49
Seznam příloh	49
Seznam zdrojů	50
Přílohy	52

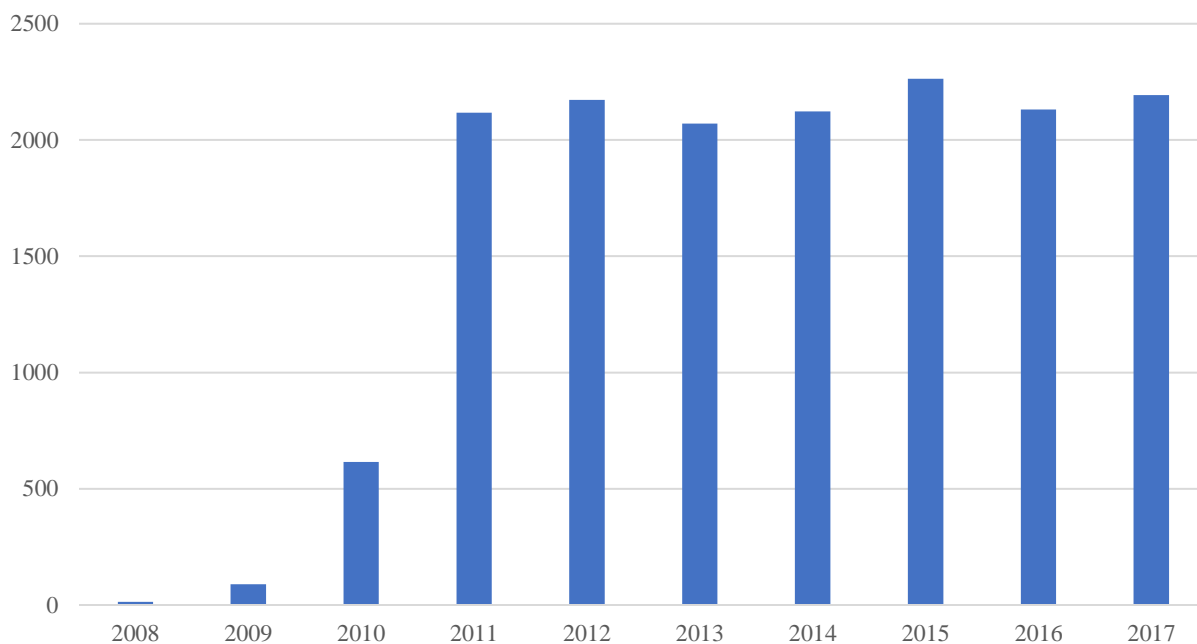
Seznam použitých zkratek

ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DC	Stejnoseměrný proud
FV	Fotovoltaický
FVE	Fotovoltaická elektrárna
GWh	Gigawatthodina
HFVE	Hybridní FVE
kWh	Kilowatt hodina
kWp	Kilowattpeak
MJ	Megajoule
MPP	Bod maximálního výkonu (Maximum Power Point)
MPPT	MPP Tracker – sledovač bodu maximálního výkonu
NOCT	Normal Operating Cell Temperature
NT	Nízký tarif
Off-Grid	Ostrovní FVE
On-Grid	Síťová FVE
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PRE	Pražská Energetika
PVGIS	Photovoltaics Geographical Information System
RD	Rodinný dům
STC	Standartní testovací podmínky (Standart Test Condition)
String	Řetězec sériově propojených FV panelů
TČ	Tepelné čerpadlo
VT	Vysoký tarif

1 Úvod

Fotovoltaika plní důležitou úlohu v myšlence mít energeticky soběstačnou budovu a výraznou finanční úsporu v platbách za elektřinu. Stává se finančně dostupnou pro každou domácnost a vyznačuje se dlouhou životností, nenáročnou obsluhou, snadnou a rychlou instalací, ale především návratností investice do instalace. Využívá nejdostupnější obnovitelný zdroj energie na Zemi – sluneční záření. Fotovoltaika je technologie pro přímou přeměnu slunečního záření na elektřinu (stejnsměrný proud „DC“) s využitím fotoelektrického jevu na velkoplošných polovodičových fotodiodách, kterým říkáme fotovoltaické články. Ty jsou pospojované do větších celků – fotovoltaických panelů. Jedná se o jediný zdroj elektřiny bez pohyblivých součástí a je považována za trvale udržitelnou technologii. Vývoj bilance a výroby elektřiny z fotovoltaických elektráren (FVE) od roku 2008 až do roku 2017 zaznamenal velký vzrůst. [1]

Vývoj bilance a výroby elektřiny od roku 2008 [GWh]



Graf 1 Vývoj bilance a výroby elektřiny z FVE

2 Typy FVE

Fotovoltaická elektrárna je navržena především pro zvýšení energetické soběstačnosti místa instalace. Celkový instalovaný výkon elektrárny, který navrhujeme počítá se spotřebou v místě instalace na úrovni minimálně 70 % maximální výroby. Je několik možností variant FVE a některé z nich si představíme. [1]

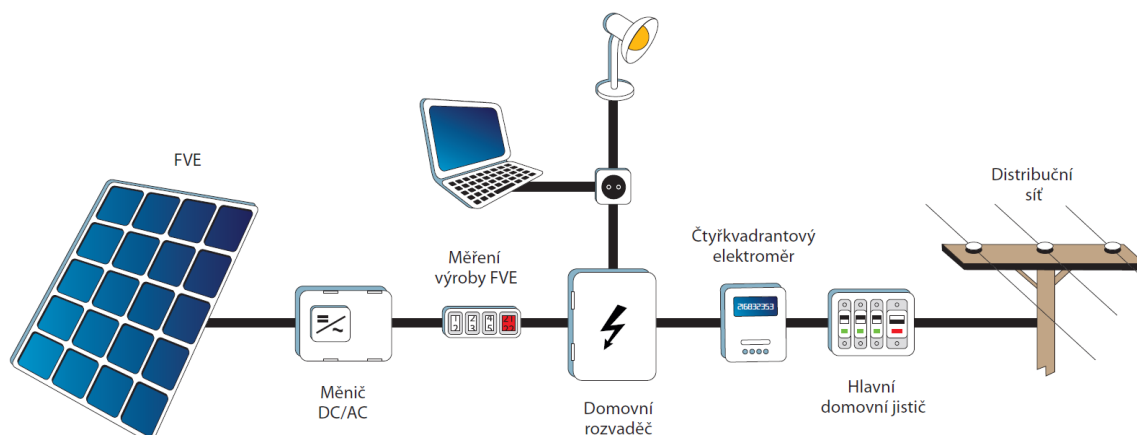
Síťovou FVE lze instalovat pouze, pokud máme povolení připojení do distribuční sítě od svého distributora. Síťová elektrárna, jinak řečeno (On-Grid), nemá a přebytky lze využívat k ohřevu teplé užitkové vody (TUV) nebo dodávat do distribuční sítě. Tento typ FVE pracuje paralelně s distribuční sítí, tedy vyrobená elektřina z FVE putuje přes hlavní domovní rozvaděč do distribuční soustavy. Pokud tomu tak není a v domě jsou užívány spotřebiče, tak je vyrobená elektřina z FVE spotřebována právě jimi a přebytek putuje do DS. Tento princip ale funguje i opačným způsobem. V případě potřeby většího množství odebírané energie zapnutými spotřebiči, než je schopna v danou chvíli FVE vyrobit, je energie dočerpána z DS a je tak možno bez omezení používat i výkonné spotřebiče.

Hybridní FVE přichází v úvahu, kdy jsme připojeni k síti a v případě výpadku elektrického proudu jsme schopni zásobovat objekt z akumulované energie uložené v bateriích. V tuto chvíli tedy zřizujeme HFVE a přebytky akumulujeme do bateriového uložení. Akumulátory v HFVE zajistí spotřebu přes den vyrobené energie i v průběhu noci a zároveň funguje jako zdroj energie v případě výpadku distribuční soustavy.

Ostrovní FV Systémy (Off-Grid) jsou typické tím, že nejsou připojeny na DS a obsahují baterie neboli akumulátory. Ostrovní systémy využíváme na místech, kde není přístup k rozvodné síti, nebo kde by vybudování elektrické přípojky znamenalo vysoké náklady. Ostrovní FV systémy si můžeme představit například v odlehlých osadách či chatařských oblastech. Lze vidět i na solárních lampách a dopravních značkách. [2]

2.1 On-Grid FVE bez akumulace

Tento typ FVE je vhodný pro větší objekty s nepřetržitým provozem a spotřebou elektřiny během dne (například tepelná čerpadla, chlazení, ohřev vody, filtrace bazénů. [3] Vyrobená elektřina z FVE se buď spotřebuje přímo v daném objektu, nebo jsou přebytky prodány do distribuční sítě. Na tuto variantu řešení nelze žádat o dotaci z programu Nová zelená úsporám.



Obrázek 1 Schéma FVE bez akumulace [15]

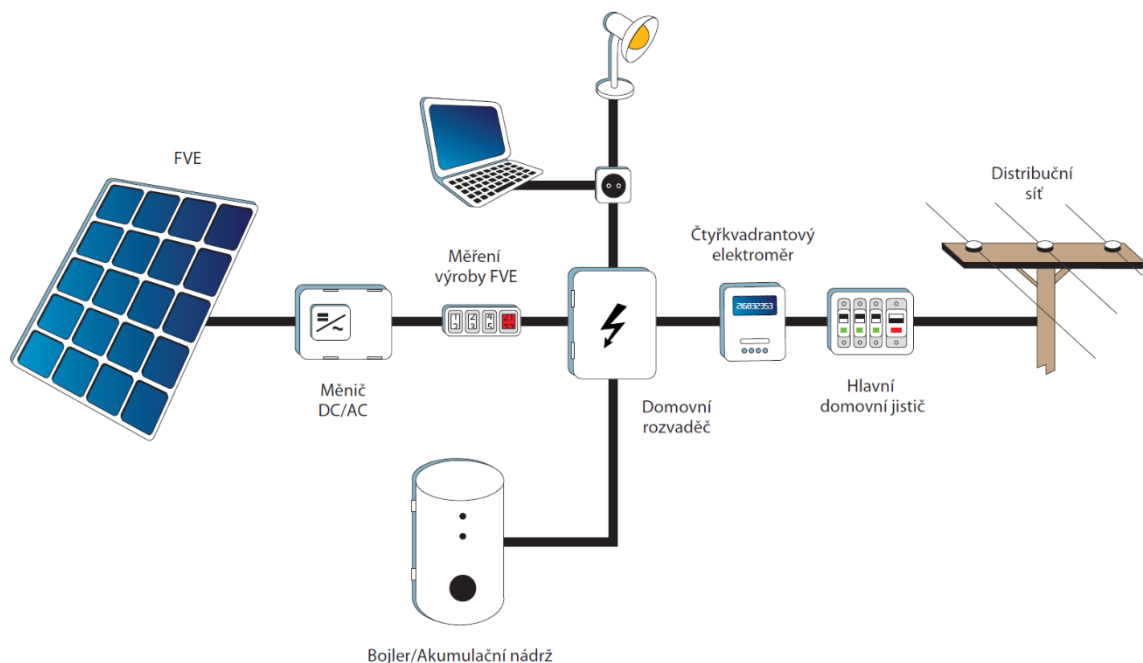
Je důležité, aby přebytky nebyly posílány do distribuční sítě. Bylo by to bráno jako nedovolené dodání do sítě. Je potřeba mít uzavřenou smlouvu o vykoupení přebytků. [2] Systém se skládá z FVE panelů, DC/AC měniče, elektroinstalace a cejchovaného měřidla výroby FVE. K systému je pak možné připojit zařízení (Wattrouter, GreenBono), které právě zajišťuje přebytky z výroby a směruje je do bojleru s topnou tyčí či akumulačních nádob s topnou spirálou. Ceny za výkup přebytků jsou různé a pohybují se cca kolem 0,30-0,60 Kč/ kWh. Pokud tedy elektřinu z FVE vyrábíme, můžeme ji zdarma využívat a neplatíme ji běžným tarifem. Pokud je tomu jinak a elektřina se nespotřebuje, tak odchází přímo do DS. [4]

2.1.1 Průběh instalace FVE bez akumulace

- vyřízení dokumentace potřebné k úspěšnému zahájení výstavby FVE v daném odběrném místě (smlouva o dílo, žádost o připojení výroby do distribuční sítě příslušného distributora, projektová dokumentace, smlouva o připojení, servisní smlouva apod.)
- doprava veškerého materiálu, elektrických rozvodů, rozváděčů, kabeláže
- instalace přepětových ochran, jističů, svodičů blesku, konečné zapojení do rozvodu NN
- vystavení závěrečné revizní zprávy
- zřízení 24hodinového vzdáleného dohledu nad FVE

2.2 On-Grid FVE s akumulací do vody

Akumulace vyrobené elektřiny do vody díky FVE je vhodná pro rodinný dům. Na ohřev vody pomocí fotovoltaických panelů není potřeba žádné povolení. Vyrobená energie se nedodává do sítě, ale proudí jen z panelů do zásobníku teplé vody, kde se přeměňuje na teplo. Elektřina je vedena pomocí dvou tenkých kabelů v chrániče a instalace fotovoltaického ohřevu vody proto znamená naprosto minimální zásah do budovy. Instalace vhodná pro zákazníky, kteří mají již postavený rodinný dům. Jednoduchost instalace je hlavní výhodou oproti instalaci termálních solárních kolektorů, u kterých jsou nutné rozměrné postupy pro potrubí s izolací. Na tuto variantu lze žádat o dotaci z programu Nová zelená úsporám v maximální výši 55 tis. Kč [5]. Vhodná instalace k FVE s výkonem do 2,5 kWp.



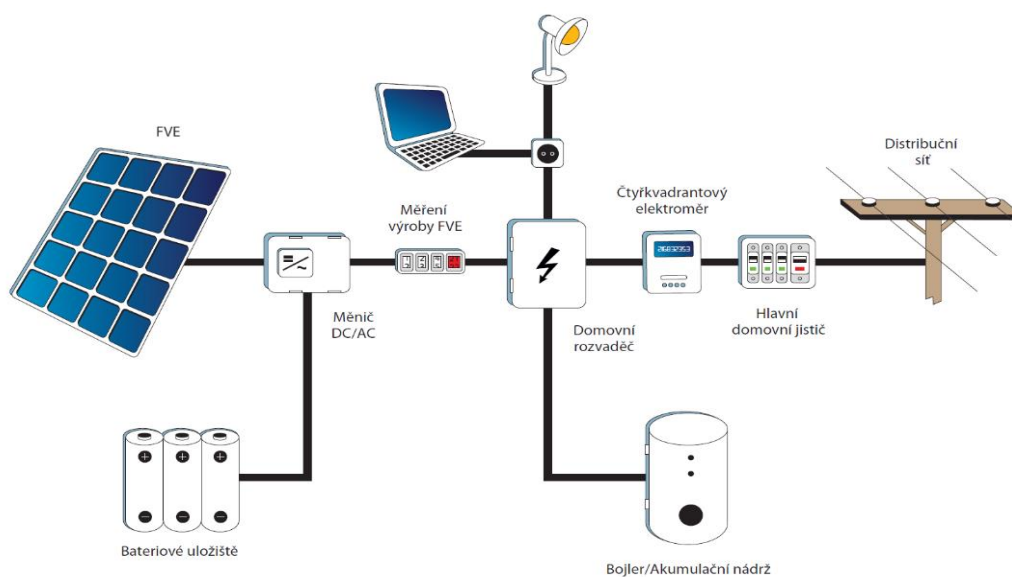
Obrázek 2 Schéma FVE s akumulací do vody [15]

2.2.1 Průběh instalace FVE s akumulací do vody

- vyřízení dokumentace potřebné k úspěšnému zahájení výstavby FVE v daném odběrném místě (smlouva o dílo, žádost o připojení výroby do distribuční sítě příslušného distributora, projektová dokumentace, smlouva o připojení, servisní smlouva apod.)
- doprava veškerého materiálu, elektrických rozvodů, rozváděčů, kabeláže
- instalaci přepěťových ochran, jističů, svodičů blesku, konečné zapojení do rozvodu NN
- vystavení závěrečné revizní zprávy, zřízení 24hodinového vzdáleného dohledu nad FVE
- Dodání akumulační nádrže o velikosti min. 120 l a vyšší a její instalaci

2.3 On-Grid FVE s akumulací do baterií

Energeticky soběstačný i po výpadku proudu je On-Grid FVE s akumulací do baterií. Vyrobenou elektřinu, kterou FVE uložila do baterií přes den, lze přes noc čerpat a v případě výpadku elektřiny lze přejít na Ostrovní systém. Vhodný typ FVE pro rodinný dům. U této varianty musíme počítat s vysokými pořizovacími náklady, ale zato můžeme počítat s relativně rychlou návratností a vyšší nezávislostí na DS a ceně elektřiny. Na tuto variantu lze žádat o dotaci z programu Nová zelená úsporám v maximální výši až 150 tis. Kč. [3] Doporučuje se při instalaci FVE s výkonem nad 2,5 kWp.



Obrázek 3 Schéma FVE s akumulací do baterií [15]

Důležitou součástí HVFE je bateriové uložení, měnič DC/AC (střídač) a MPP Tracker, který nastavuje pracovní bod střídače tak aby odpovídal aktuálnímu bodu maximálního výkonu panelů. (inteligentní regulátor nabíjení). [6]

2.3.1 Průběh instalace FVE s akumulací do baterií

- vyřízení dokumentace potřebné k úspěšnému zahájení výstavby FVE v daném odběrném místě (smlouva o dílo, žádost o připojení výroby do distribuční sítě příslušného distributora, projektová dokumentace, smlouva o připojení, servisní smlouva apod.)
- doprava veškerého materiálu, elektrických rozvodů, rozváděčů, kabeláže
- instalaci přepěťových ochran, jističů, svodičů blesku, konečné zapojení do rozvodu NN
- vystavení závěrečné revizní zprávy, zřízení 24hodinového vzdáleného dohledu nad FVE

3 Objekt a jeho Energetická náročnost

V této kapitole se budeme seznamovat s objektem plánované výstavby, optimálními podmínkami instalace a se spotřebou energií objektu.

3.1 Popis budovy

Rodinný dům, na jeho konkrétním případě chci ukázat celý proces výstavby a návrhu FVE. RD je podsklepený, má přízemí a podkroví. Přístup do objektu je ze severní strany do zádveří a do garáže. Garáž je přes předsíň a požární dveře spojena s halou objektu. V přízemí obytné části je vedle kuchyně umístěna jídelna a obývací pokoj. V budoucnu je možné přistavit na jižní straně zimní zahradu. Všechny prostory jsou přirozeně osvětleny a větrány. Zastavěná plocha včetně garáže je 145,53 m² a obestavěný prostor činí 1234,77 m³.

Souřadnice *49°86'80" North, 14°46'70" East, Elevation: 324 m a.s.l.,*

Sklon *43°*

Orientace *JIH*



Obrázek 4 Rodinný dům, Luka p.Medníkem

3.1.1 Střecha

Střecha je hlavním parametrem při výstavbě jakékoli FVE, kterou chceme na střechu umístit. Sklon střechy objektu je 43° a můžeme tedy očekávat procentuálně menší celoroční produkci elektřiny než u optimálního sklonu 35° . Stáří střechy je 23 let. Z pohledu již můžeme říct, že umístění panelů a jejich množství bude limitující. Bude potřeba provést grafickou vizualizaci a určit ideální rozmístění. (viz. Kapitola 7).

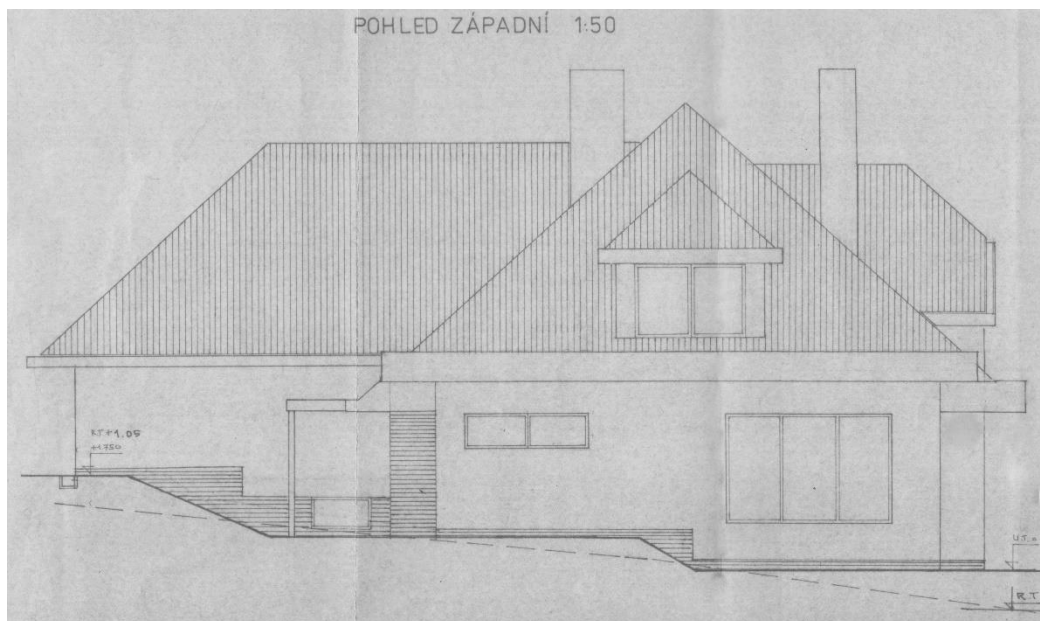


Obrázek 5 Pohled na střechu

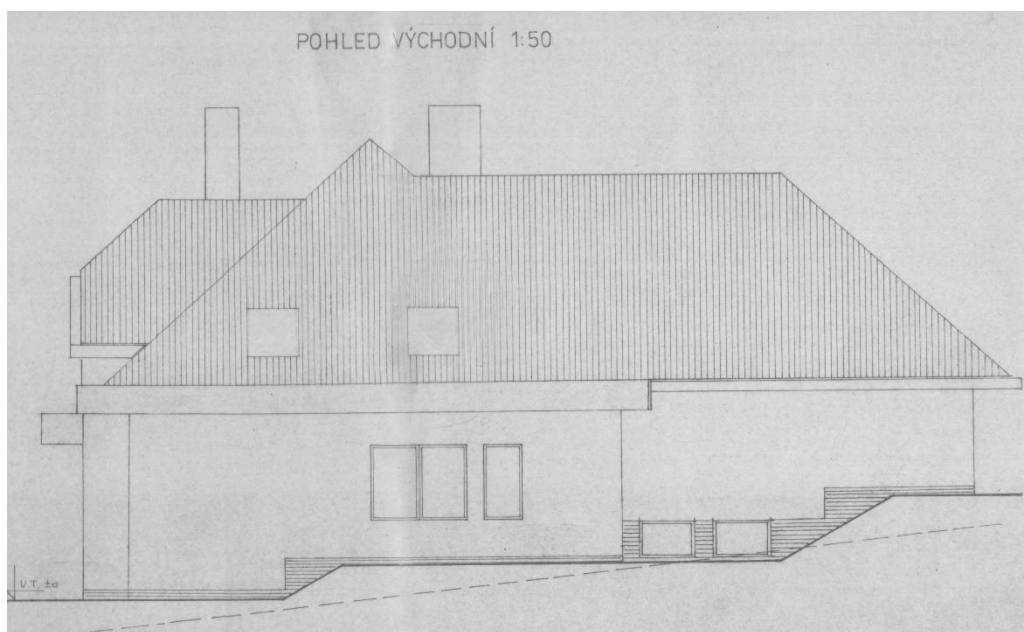
3.1.2 Situační plán rodinného domu



Obrázek 6 Pohled RD jižní strana



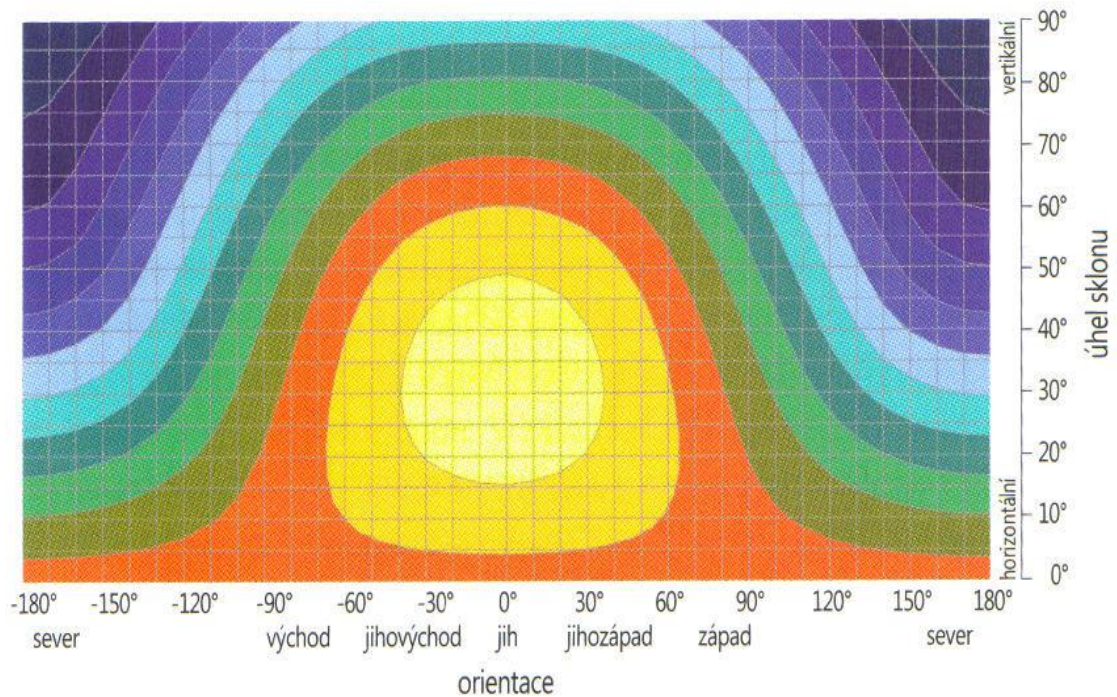
Obrázek 8 Pohled RD západní strana



Obrázek 7 Pohled RD východní strana

3.2 Optimální orientace a sklon FVE

Zdaleka nejvíce elektřiny vyrobí FV panel orientovaný k jihu se sklonem 35° . Při montáži na střechu domu je u současných cen panelů výhodnější umístit je paralelně se střešní krytinou. Toto provedení je obvykle nejen ekonomicky výhodnější, ale i lépe vypadající. Při vodorovném umístění panelů je snížení celoročního výnosu elektřiny nepatrně nad hodnotu 10 %.



Obrázek 9 Vliv orientace FVE v závislosti na úhlu sklonu [13]

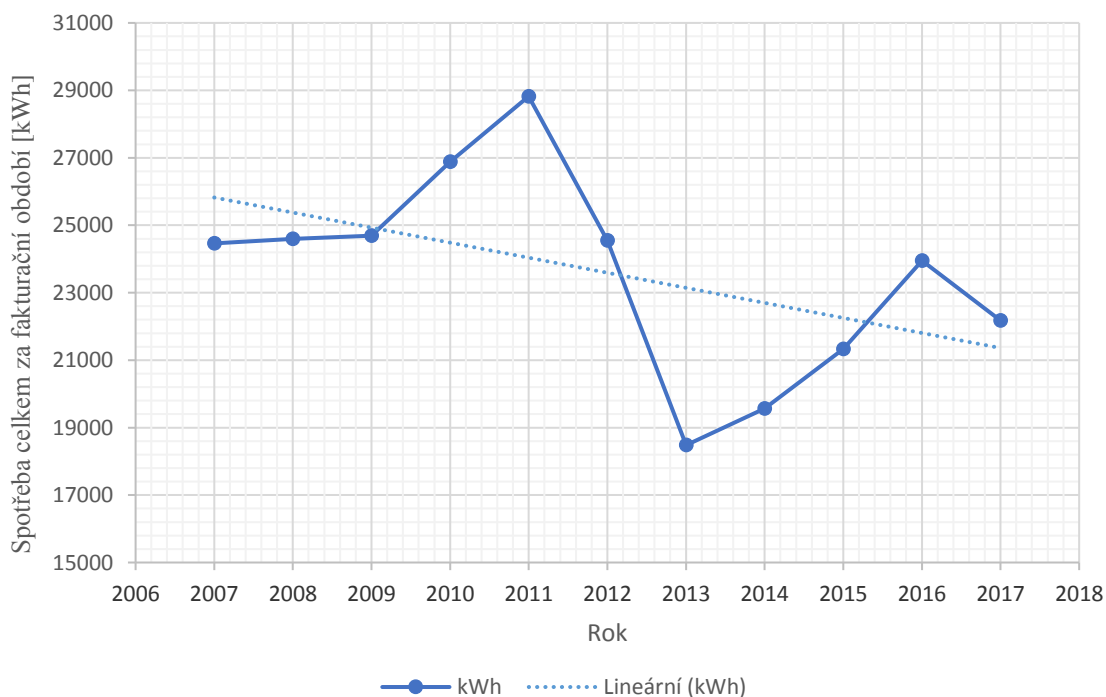
Akceptovatelná odchylka orientace střešní plochy RD od jihu se při optimálním sklonu pohybuje kolem $\pm 45^\circ$, přičemž dochází k poklesu do 5 % celoročního výnosu, případně až $\pm 70^\circ$ s poklesem okolo 10 %. Může nastat případ, že se v okolí budou vyskytovat objekty, jako jsou například budovy, kopce nebo stromy, které by mohly na panely vrhat stín a tím snížit aktuální účinnost panelu. [8]

3.3 Spotřeby energií [kWh]

Objekt je energeticky náročný, a proto distributor umožňuje využívat sazbu D42d, u které objekt (RD) využívá dvacet hodin nízký tarif za cenu 1,31 Kč/kWh (1,57 Kč/kWh) a čtyři hodiny vysoký tarif s cenou 1,55 Kč/kWh (1,68 Kč/kWh). Do roku 2013 byla dodavatelem elektřiny společnost ČEZ, ale od 01.03.2013 se jím stala společnost Yello Energy. Z řádných výpisů faktur za elektřinu jsem získal potřebná data spotřeby elektřiny v desetiletém intervalu mezi lety 2007-2017.

3.3.1 Roční spotřeby energií [kWh]

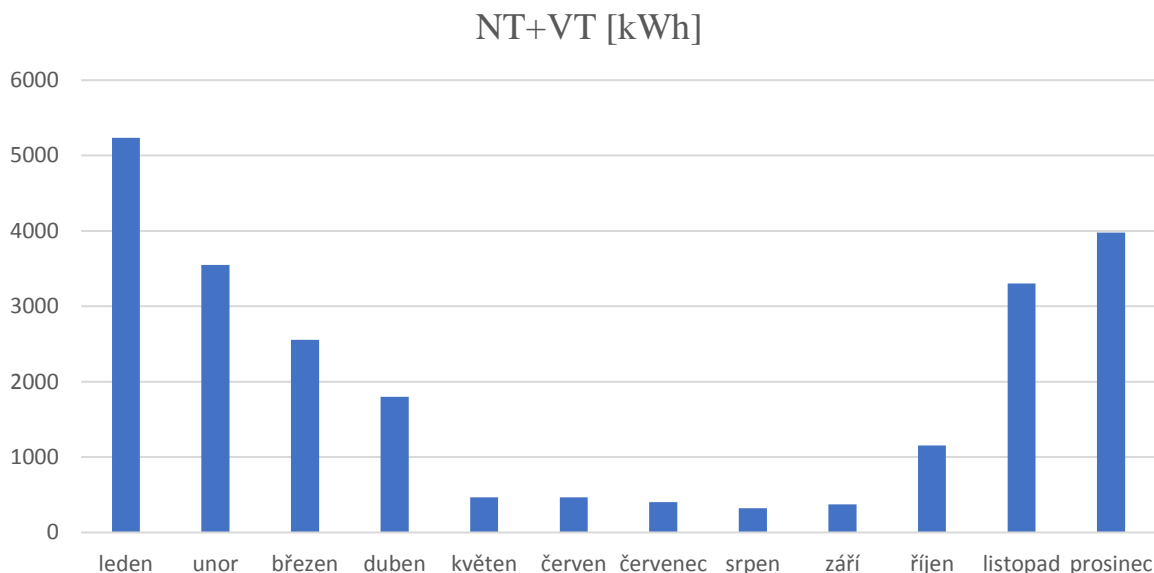
<i>Jistič</i>	<i>3x32 A</i>
<i>Distribuční sazba</i>	<i>D45d</i>
<i>Regulační stupeň</i>	<i>TDD 7</i>
<i>Cena silové elektřiny</i>	<i>VT 1,55 Kč/kWh (1,86 Kč/kWh) / NT 1,31 Kč/kWh (1,57 Kč/kWh)</i>
<i>Produktová řada</i>	<i>Yello Double</i>



Graf 2 Roční spotřeby energií [kWh]

3.3.2 Měsíční spotřeby elektřiny za fakturační období 2017

K rodinnému domu jsem získal údaje o spotřebě energií za posledních 10 let a víme, že v objektu se topí elektřinou. Zcela jasné je, že v letním období se elektrické vytápění vypíná. Topná sezóna v RD začíná v říjnu a končí v dubnu.



Graf 3 Měsíční spotřeby elektřiny za rok 2017

2017	NT	VT	NT+VT
leden*	5187	47	5234
únor *	3498	52	3550
březen*	2497	57	2554
duben*	1746	52	1798
květen	434	34	468
červen	434	33	467
červenec **	371	32	403
srpen	292	28	320
září	354	19	373
říjen *	1121	35	1156
listopad*	3272	30,9	3302,9
prosinec *	3944	36	3980
Σ [kWh]	23150 kWh	455,9 kWh	23605,9 kWh

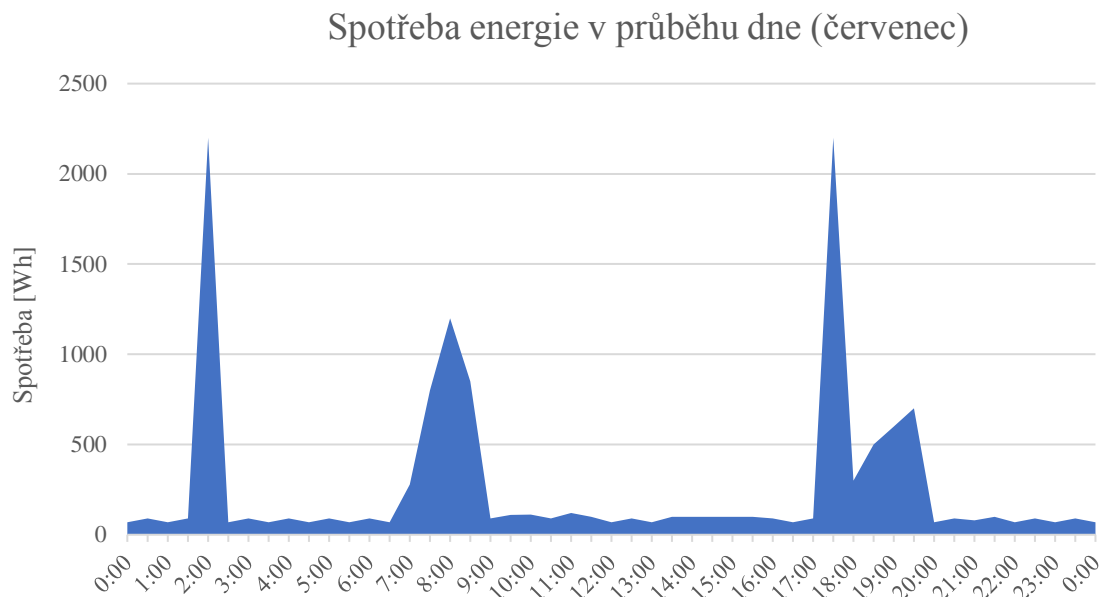
Tabulka 1 Měsíční spotřeby energií 2017

* topná sezóna (topení elektřinou)

** měsíc s nejvyšší hodnotou doby úhrnu slunečního svitu [kWh/m²]

3.3.3 Denní spotřeba elektřiny v průběhu dne pro červenec 2017

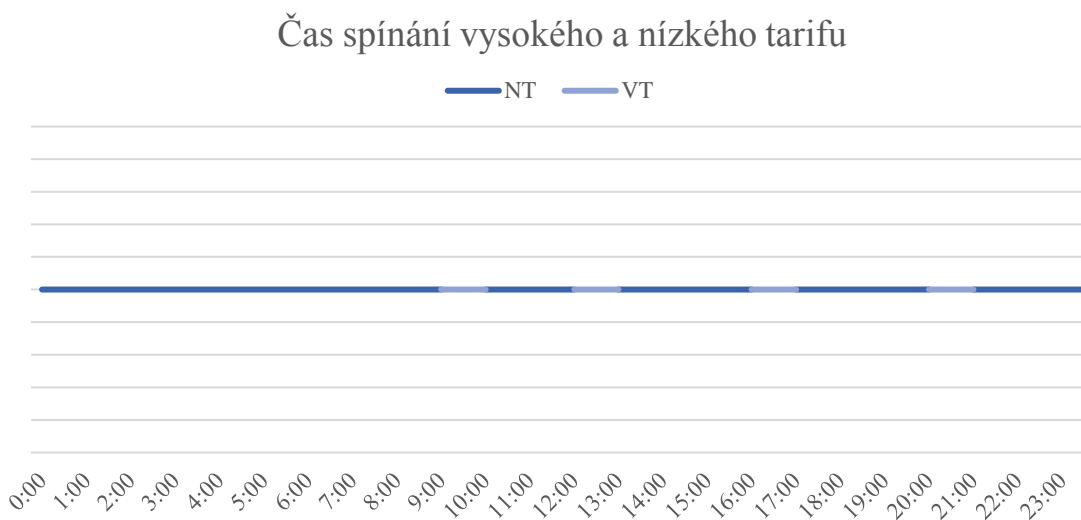
Průměrná spotřeba elektřiny v jednom dni měsíce července je 13 kWh, z toho 11,968 kWh (NT) a 1,032 kWh (VT).



Graf 4 Spotřeba energie v průběhu dne (červenec)

3.3.4 Čas spínání nízkého a vysokého tarifu

Nízký tarif v rodinném domě běží 20 h, vysoký tarif 4 h denně. V Grafu 5. je znázorněno spínání VT/NT v průběhu dne.



Graf 5 Čas spínání NT a VT

4 Klimatické podmínky

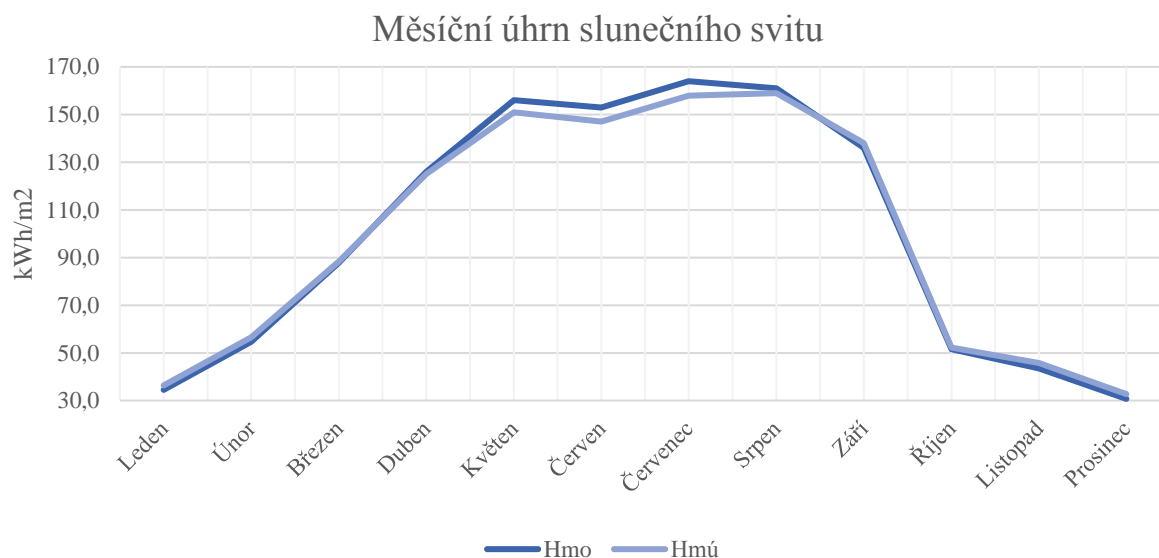
Objekt, u kterého řešíme potenciální výstavbu, se nachází v Lukách pod Medníkem, Praha-Západ. Budou nás zajímat tedy hodnoty v oblasti Středočeského kraje. K určení měsíčních teplot a denních teplot v předem určených intervalech použijeme software PGVIS (Photovoltaics Geographical Information System), model vytvořený výzkumným centrem Evropské komise.

PVGIS je zaměřený přímo na využití pro fotovoltaické aplikace. Umožňuje kalkulaci výroby elektřiny v konkrétním místě kdekoli v Evropě i v Africe. Výpočetní model využívá jak údaje ze satelitních měření, tak z pozemních meteorologických stanic. Důležité hodnoty, které nás budou zajímat jsou:

- měsíční úhrn slunečního svitu [kWh/m^2]
- denní úhrn slunečního záření [W/m^2]
- územní teploty [$^{\circ}\text{C}$]
- doba trvání slunečního svitu [h]

4.1 Měsíční úhrn slunečního svitu dle PVGIS [kWh/m²]

Solární energii v České republice ovlivňuje mnoho faktorů (zeměpisná šířka, roční doba, lokální podmínky, oblačnost, a především sklon FVE na níž sluneční záření dopadá). Hodnoty jsou zjištěny pro optimální sklon 35° a sklon střechy objektu 43°. Všechna data jsme zjistili za nejbližší možný rok z databáze. Tím nejbližším možným rokem byl rok 2016.



Graf 6 Měsíční úhrn slunečního svitu

	H_{mo}^*	$H_{mú}^{**}$
<i>leden</i>	34,5	36,3
<i>únor</i>	54,6	56,5
<i>březen</i>	87,8	88,4
<i>duben</i>	126,0	125,0
<i>květen</i>	156,0	151,0
<i>červen</i>	153,0	147,0
<i>červenec</i>	164,0	158,0
<i>srpen</i>	161,0	159,0
<i>září</i>	136,0	138,0
<i>říjen</i>	51,5	52,2
<i>listopad</i>	43,5	45,8
<i>prosinec</i>	30,7	32,7
Σ [kWh/m²]	1198,6	1189,9

Tabulka 2 Měsíční úhrn slunečního svitu [kWh/m²]

*H_{mo}

Hodnota měsíční solární energie (slunečního svitu) dopadající na 1 m² a na plochu pod optimálním úhlem 35° [kWh/m²]

**H_{mú}

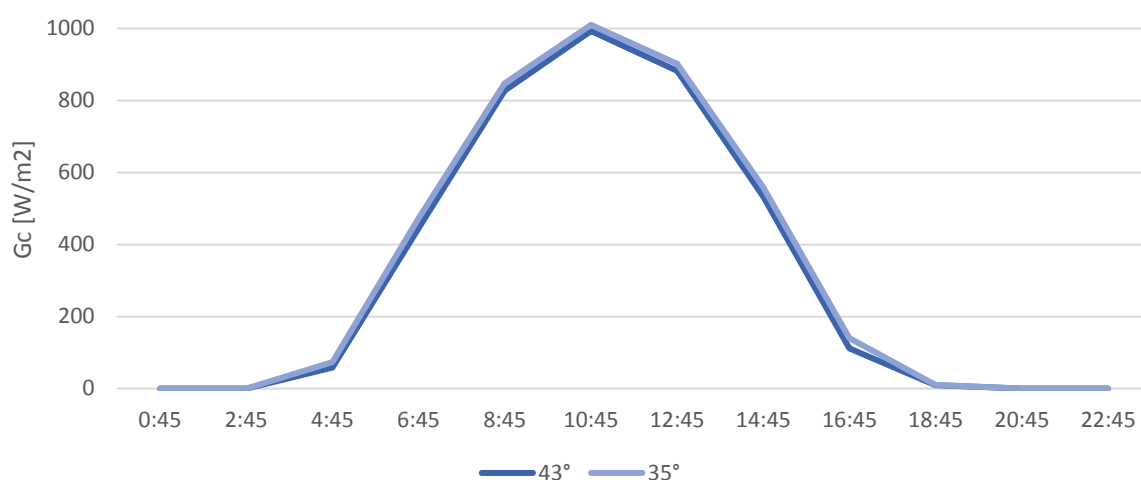
Hodnota měsíční solární energie (slunečního svitu) dopadající na 1 m² horizontální roviny pod úhlem 43° [kWh/m²]

4.2 Denní úhrn slunečního záření dle PVGIS [W/m²]

Jako další z důležitých informací, které jsem vypočetl za pomoci programu PVGIS je denní úhrn slunečního záření [W/m²] v roce 2017. Časový interval měření rozmezí je 2 h při odečtu hodnot Globálního slunečního záření G , difúzního slunečního záření G_d , přímého slunečního záření G_b a globálního slunečního záření za podmínek jasného počasí G_c .

4.2.1 Červenec

Globální záření za předpokladu jasného počasí v závislosti na sklonu FVE



Graf 7 Denní úhrn slunečního záření G_c v závislosti na sklonu FVE

35°	0:45	2:45	4:45	6:45	8:45	10:45	12:45	14:45	16:45	18:45	20:45	22:45
G	0	0	69	330	544	623	526	355	105	9	0	0
G_b	0	0	7	161	289	327	255	166	26	0	0	0
G_d	0	0	60	163	245	285	262	182	77	9	0	0
G_c	0	0	73	473	848	1010	902	559	140	10	0	0
43°	0:45	2:45	4:45	6:45	8:45	10:45	12:45	14:45	16:45	18:45	20:45	22:45
G	0	0	59	314	530	611	514	340	93	9	0	0
G_b	0	0	0	149	279	319	247	155	17	0	0	0
G_d	0	0	56	156	237	276	253	175	72	8	0	0
G_c	0	0	58	445	827	993	882	533	112	9	0	0

Tabulka 3 Denní úhrn slunečního svitu pod úhlem 35° [W/m²]

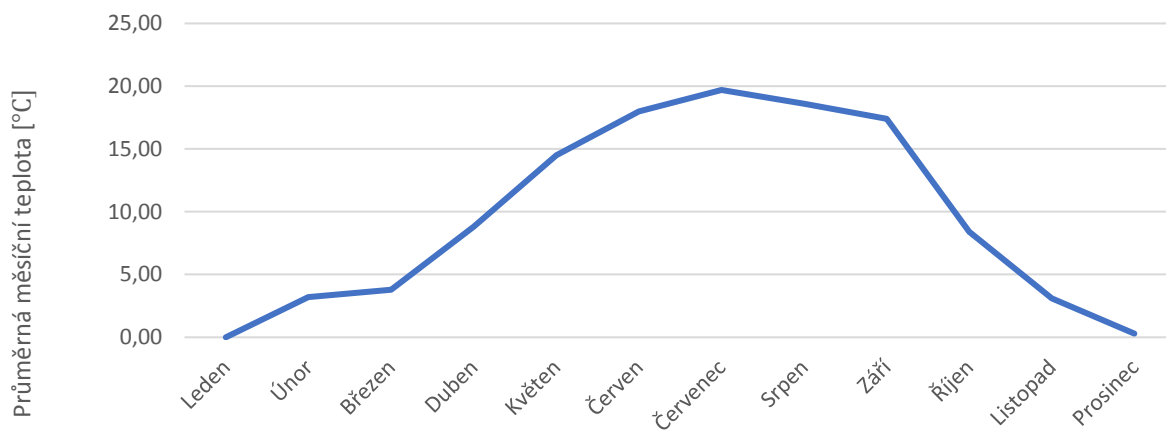
kde G Globální sluneční záření [W/m²]
 G_b Přímé sluneční záření [W/m²]
 G_d Difúzní sluneční záření [W/m²]
 G_c Globální sluneční záření za podmínek jasného počasí [W/m²]

4.3 Územní teploty v průběhu roku 2017 [°C]

Z Aplikace PVGIS jsem určil průměrné měsíční teploty v roce 2017 (Příloha 1.) a denní teploty za měsíc červenec, kde průměrná měsíční teplota dosahuje maxima (tabulka 5., Graf 9.).

Měsíc	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Teplota[°C]	0,0	3,2	3,8	8,8	14,5	18,0	19,7	18,6	17,4	8,4	3,1	0,0

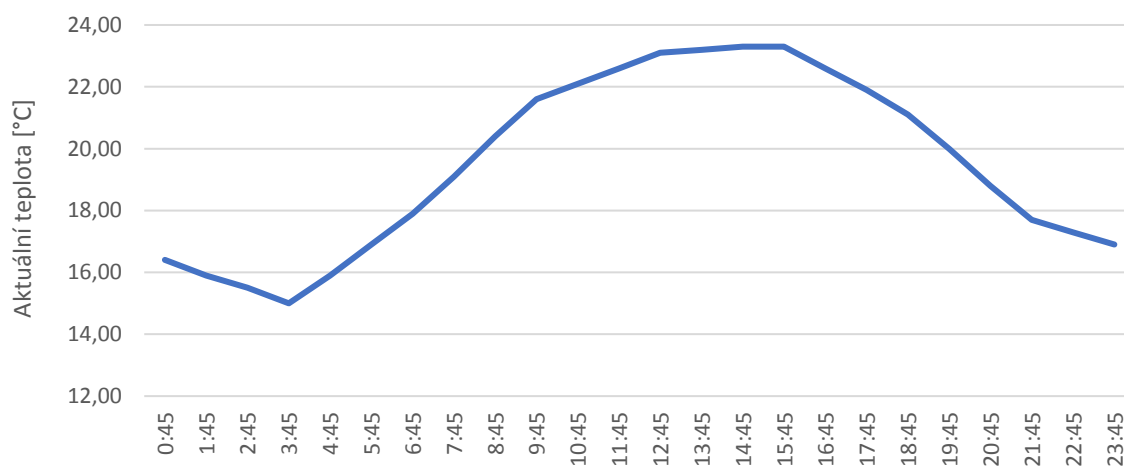
Tabulka 4 Měsíční teploty 2017



Graf 8 Měsíční teploty 2017

Čas	0:45	1:45	2:45	3:45	4:45	5:45	6:45	7:45	8:45	9:45	10:45	11:45
T[°C]	16,4	15,9	15,5	15	15,9	16,9	17,9	19,1	20,4	21,6	22,1	22,6
Čas	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	23:45
T[°C]	23,1	23,2	23,3	23,3	22,6	21,9	21,1	20	18,8	17,7	17,3	16,9

Tabulka 5 Denní teploty červenec 2017



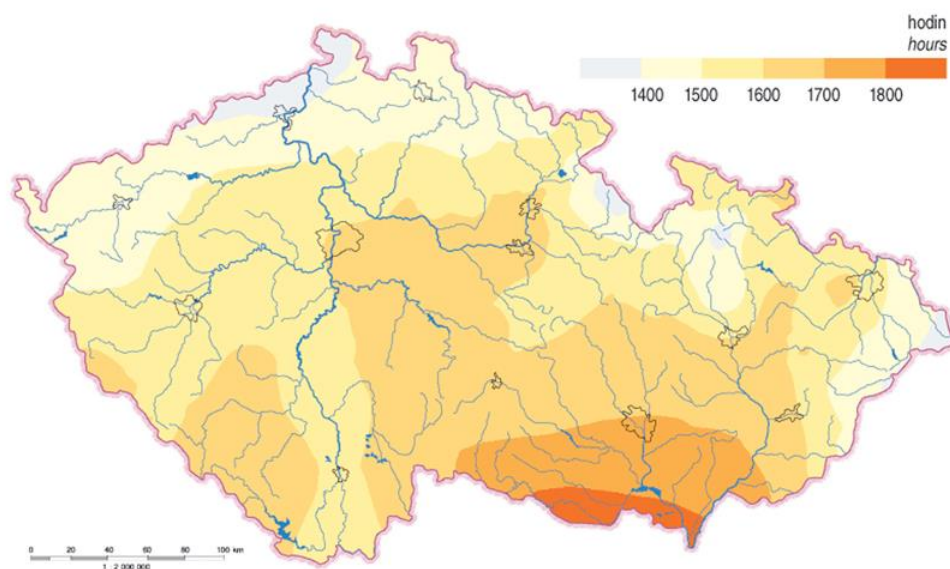
Graf 9 Denní teploty červenec 2017

4.4 Doba trvání slunečního svitu [hod]

Hodnota doby trvání slunečního svitu je hodnota poukazující na interval, kdy bylo slunce nad obzorem, tedy čas od východu k západu slunce a její délka se vyjadřuje nejčastěji v hodinách, a to na celé desetiny. Tato hodnota se bude v letním a zimním období zásadně lišit. Její hodnota bude samozřejmě daleko vyšší v létě nežli v zimě a je výrazně ovlivněna oblačností. [7]

Kraj	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	Celkem [h]
<i>Středočeský</i>	30	52	114	133	191	188	191	196	127	88	39	34	1383

Tabulka 6 Doba trvání slunečního svitu [hod]



Obrázek 10 Mapa doby trvání slunečního svitu na území ČR [7]

5 Dimenzování fotovoltaické elektrárny

5.1.1 Fotovoltaický článek

Čím vyšší je účinnost, tím větší výkon na m^2 může FV článek vyrobit. Sériově vyráběné křemíkové články dosahují maximální účinnosti 20 %. V laboratorních podmínkách se pohybuje účinnost až do 25 %, kde jsou během standardních testovacích podmínek STC články testovány. Osvit 1000 W/m^2 , teplota $25 \text{ }^\circ\text{C}$, spektrum AM 1,5.



Obrázek 11 Monokrystalický, polykrystalický a amorfní článek

Materiál FV článku	Maximální laboratorní účinnost	Typická modulární účinnost článku	Plocha potřebná na 1 kW
monokrystalický křemík*	24,7 %	15 %	6,7 m^2
polykrystalický křemík	18,5 %	14 %	7,2 m^2
amorfní křemík	12,7 %	6 %	16,7 m^2
CIS /n CIGS	19,5 %	10 %	10 m^2
CdTe	71,65 %	7 %	14,3 m^2

Tabulka 7 Účinnost různých materiálů FV článků

Druh integrace FV modulu do budovy: $f_{\text{perf}} [-]$	
silně větrané moduly	0,8
mírně větrané moduly	0,75
nevětrané moduly	0,7

Tabulka 8 druh integrace FV modulu do budovy

Součinitel špičkového výkonu $K_{\text{pk}} [\text{kW/m}^2]$	
Monokrystalický	0,12-0,191
Polykrystalický	0,1-0,16
Amorfní	0,04-0,08
CIS/CIGS	0,105
CdTe	0,095

Tabulka 9 Součinitel špičkového výkonu K_{pk}

5.2 Dimenzování On-Grid FVE dle PVGIS

Důležitý parametr ve výstavbě FVE je pokrytí spotřeb energií objektu tam, kde je právě budeme potřebovat. Použil jsem několik výpočtových metod, podle kterých zjistím celkový FV výkon. Musím rozlišovat období, kdy se přešlo do topné sezóny, protože spotřeba elektřiny je v tomto období výrazně vyšší. Základní parametry se mohou měnit z několika důvodu (úhlu dopadajícího slunečního záření, teplotě a nízkému úhrnu slunečního svitu). Celková systémová ztráta může být tedy o něco vyšší.

<i>Sklon FVE</i>	<i>43° (sklon střechy RD), 35° (optimální sklon)</i>
<i>Souřadnice</i>	<i>49°86'80" North, 14°46'70" East</i>
<i>Nadmořská výška</i>	<i>324 m.n.m.</i>
<i>Orientace umístění</i>	<i>JIH, VÝCHOD, ZÁPAD</i>
<i>PV technologie</i>	<i>BEnQ SunVivo Mono-krystalický fotovoltaický (310Wp)</i>
<i>Systémová ztráta</i>	<i>14 % (PVGIS)</i>



Obrázek 12 FV panel značky BENQ SOLAR SunVivo [16]

5.2.1 Roční produkce 1 ks FV panelů orientovaných na jih, západ, východ

<i>0,31 kWp</i>	<i>Východ</i>		<i>Jih</i>		<i>Západ</i>	
43°	Em	Hm	Em	Hm	Em	Hm
leden	4,6	19,6	7,82	30,5	4,49	19,3
únor	9,14	36,4	14,4	55,3	8,92	35,8
březen	19	75,6	26,6	106	18,7	75,3
duben	28,6	117	34,1	141	27,1	112
květen	32,4	134	34,2	144	30,4	127
červen	33,5	143	34,5	148	31,9	134
červenec	34,4	149	35,6	156	32,3	141
srpen	30	128	34,2	148	28,2	122
září	20,8	86,7	26,8	112	19,5	82,5
říjen	11,6	48,2	17,7	72	11,8	49,3
listopad	5,79	24,7	9,8	38,9	5,72	24,6
prosinec	4,02	19,6	7,69	30	3,86	17,1
Σ	233,85	981,8	283,41	1181,7	222,89	939,9

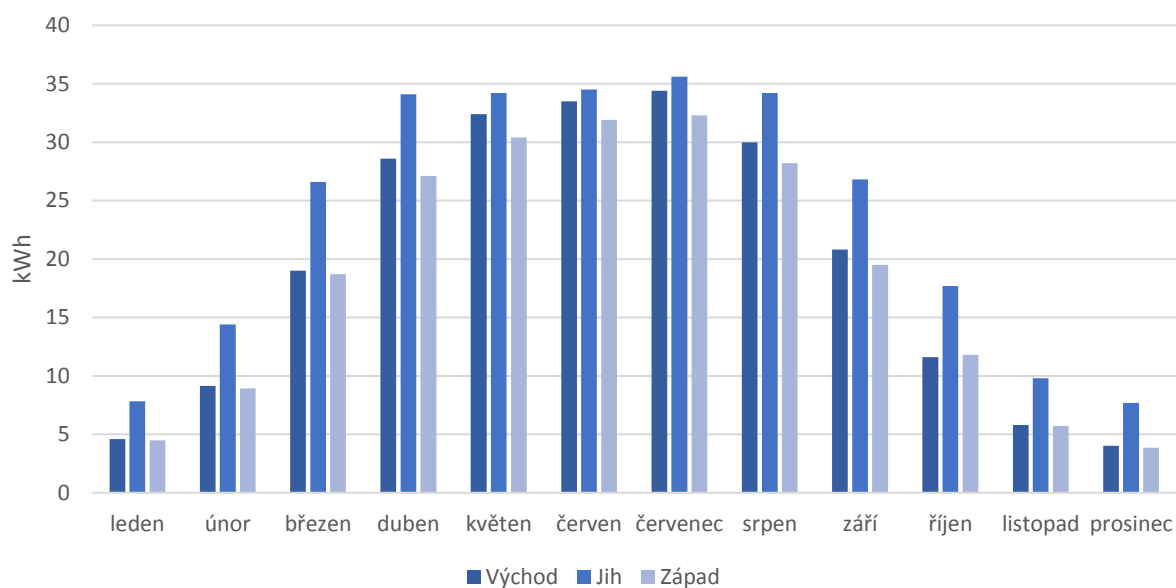
35°	Em	Hm	Em	Hm	Em	Hm
leden	4,72	20,1	7,49	29,4	4,62	19,9
únor	9,38	37,3	14	53,6	9,18	36,8
březen	19,5	77,7	26,2	104	19,3	77,6
duben	29,5	121	34,4	142	28,1	116
květen	33,4	139	35,3	148	31,8	133
červen	34,9	148	35,9	154	33,3	142
červenec	35,5	153	36,9	161	33,7	147
srpen	30,9	133	34,8	151	29,2	127
září	21,4	88,9	26,7	112	20,2	85,2
říjen	11,9	49,6	17,3	70,2	12,2	50,7
listopad	5,93	25,4	9,4	37,5	5,88	25,2
prosinec	4,11	18	7,26	28,5	3,96	17,5
Σ	241,14	1011	285,65	1191,2	231,44	977,9

Tabulka 10 Roční produkce 1 ks FV panelů orientovaných na jih, západ, východ

*Em Průměrná měsíční výroba elektřiny ze systému [kWh].

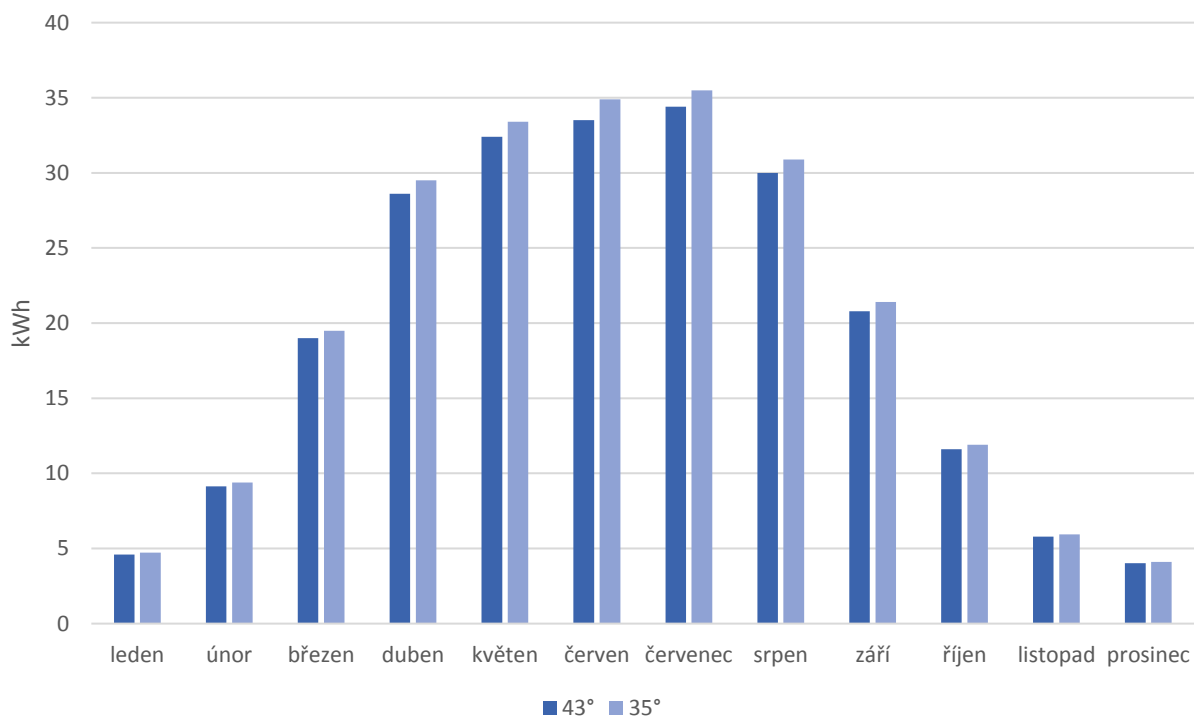
*Hm Průměrný měsíční úhrn slunečního záření na 1 m² panelu [kWh/m²]

5.2.3 Rozdíl roční produkce elektřiny 1 ks panelu v závislosti k jejich světové orientaci



Graf 10 Rozdíl roční produkce elektřiny 1 ks panelu v závislosti na jejich orientaci

5.2.2 Rozdíl roční produkce elektřiny 1 ks panelu v závislosti na sklonu FV panelů orientovaných na jih



Graf 11 Rozdíl roční produkce 1 panelů (jih) v závislosti na jejich sklonu

5.3 Výpočet dle ČSN EN 15316-4-6

Norma ČSN EN 15316-4-6, která stanovuje roční produkci elektrické energie fotovoltaickým systémem pouze na základě jeho špičkového výkonu bez ohledu na reálné provozní vlivy pro konkrétní použité FV panely a další prvky systémů. Jako hodnotu referenčního slunečního ozáření použijí jeho maximální hodnotu za podmínek jasného počasí z (Tabulka 2). Výpočty provádíme pro obě varianty sklonu FVE.

Elektrická energie dodaná FV systémem E_{pv} [kWh/rok]

$$E_{PV} = \frac{H_{mo/mú} \cdot P_{PK} \cdot f_{perf}}{G_{ref}} \quad (2.1)$$

kde P_{PK} – špičkový výkon FV systému [kW]

$H_{mo/mú}$ – měsíční úhrn slunečního svitu na sklonu FVE [kWh/m²rok]

G_{ref} – referenční sluneční ozáření, volíme 1000 W/m²

f_{perf} – druh integrace FV modulu do budovy [–]

Špičkový výkon FV systému P_{PK} [kW]

$$P_{PK} = K_{pk} \cdot A_{FV} \quad (2.2)$$

kde K_{pk} – součinitel špičkového výkonu [kW/m²]

A_{FV} – celková činná plocha všech FV panelů

5.3.1 Výpočty pro sklon 43°

Následující výpočty ukazují, kolik vyrobí 1 panel s námi vybranými parametry značky BEnQ SunVivo PM060MW2/PM060MB2 o výkonu 310 Wp s účinností modulu 19,1 %. Nejprve vypočtu ze vztahu (1.2) špičkový výkon panelu, jehož plocha $A_{FV} = 1,6268 \text{ m}^2$.

$$P_{PK} = K_{pk} \cdot A_{FV} = 0,191 \cdot 1,6268 = 0,3107 \text{ kW}$$

Poté ze vztahu (1.1) vypočtu hodnotu elektrické energie dodané FV za rok. A celkovou hodnotu slunečního ozáření z (tabulka.2), kde $H_{mú} = 1189,9 \text{ kWh/m}^2$ za rok a 158 kWh/m^2 za měsíc červenec.

$$E_{PV} = \frac{H_{mú} \cdot P_{PK} \cdot f_{sklonu}}{G_{ref}} = \frac{1189,9 \cdot 0,3107 \cdot 0,8}{1} = 295,76 \text{ kWh/rok}$$

$$E_{P_{1panel}} = \frac{H_{mú} \cdot P_{PK} \cdot f_{sklonu}}{G_{ref}} = \frac{158 \cdot 0,3107 \cdot 0,8}{1} = 39,27 \text{ kWh/červenec}$$

Z tohoto výpočtu plyne, že 1 panel v dané lokalitě vyrobí v červenci 39,27 kWh. Pokud tedy tuto hodnotu srovnáme s výpočtem zisku z programu PVGIS, kde FVE o výkonu 0,31 kWp vyrobí 35,6 kWh/červenec. PVGIS zahrnuje náhlé změny počasí, okolní vlivy a díky těmto parametrům může být hodnota o něco přesnější, ale stále blízko hodnotě výše vypočtené. Můžeme tedy říct, že výpočet roční elektrické energie vypočtené z PVGIS a dle ČSN 15316-4-6 se liší o 3,67 kWh.

1 panel (43°)	PVGIS	ČSN EN 15316-4-6
Ep	35,6 kWh/červenec	39,27 kWh/červenec
	283,41 kWh/rok	295,76 kWh/rok

Tabulka 11 Srovnání výsledků dle PVGIS a ČSN EN 15316-4-6

Dopočítáním zbylých hodnot roční a měsíční produkce elektrické energie z výše uvedených vztahu, určí potřebný počet panelů na pokrytí spotřeb energií RD.

Hodnoty Elektrické energie dodané 1 ks FV panelu SunVivo (290-310 Wp) se sklonem 43°		
nominální výkon P _n	[kWh/rok]	[kWh/červenec]
290 W _p	275,95	36,60
295 W _p	280,29	37,22
300 W _p	284,94	37,84
305 W _p	289,59	38,45
310 W _p *	295,78	39,27

Tabulka 12 Hodnoty elektrické energie dodané 1ks FV panelu (290-310 Wp)

* Fotovoltaický panel, který volím k dalším výpočtům a výstavbě FVE.

5.3.2 Výpočty pro optimální sklon FVE 35°

$$P_{PK} = K_{pk} \cdot A_{FV} = 0,191 \cdot 1,6268 = 0,3107 \text{ kW}$$

$H_{mo} = 1198,9 \text{ kWh/m}^2$ za rok a 164 kWh/m^2 za měsíc červenec.

$$E_{PV} = \frac{H_{mo} \cdot P_{PK} \cdot f_{perf}}{G_{ref}} = \frac{1198,9 \cdot 0,3107 \cdot 0,8}{1} = 298,02 \text{ kWh/rok}$$

$$E_{P_{1panel}} = \frac{H_{mo} \cdot P_{PK} \cdot f_{perf}}{G_{ref}} = \frac{164 \cdot 0,3107 \cdot 0,8}{1} = 40,77 \text{ kWh/červenec}$$

Lze tedy říct, že výpočet roční elektrické energie vypočtené z PVGIS a dle ČSN 15316-4-6 se liší tentokrát o 3,86 kWh.

1 panel (35°)	PVGIS	ČSN EN 15316-4-6
Ep	36,9 kWh/červenec	40,764 kWh/červenec
	285,65 kWh/rok	297,999 kWh/rok

Tabulka 13 Srovnání výsledků dle PVGIS a ČSN EN 15316-4-6

Dopočítáním zbylých hodnot roční a měsíční produkce elektrické energie z výše uvedených vztahu určím potřebný počet panelů na pokrytí spotřeb energií RD.

Hodnoty Elektrické energie dodané 1 ks FV panelu SunVivo (290-310 Wp) se sklonem 35°		
nominální výkon P _n	[kWh/rok]	[kWh/červenec]
290 Wp	275,95	37,99
295 Wp	282,41	38,63
300 Wp	287,09	39,27
305 Wp	291,78	39,91
310 Wp*	298,02	40,77

Tabulka 14 Hodnoty elektrické energie dodané 1ks FV panelu (290-310 Wp)

* Fotovoltaický panel, který volím k dalším výpočtům a výstavbě FVE.

5.4 Výpočet dle orientační plochy střechy

Plocha střechy RD na jižní straně činí 43,4 m², obdobně je tomu tak i na západní straně a východní straně střechy. Není však možné využít celou plochu z důvodu valbové střechy, umístění střešních oken a komínu. Orientační výpočet ale počítám pro plochu 30 m², tedy 10 m² na jižní, východní a západní straně. Bude nutné uzpůsobit rozmístění FV panelů a vymodelování jejich rozmístění, aby bylo možné přesně určit kolik FV panelů lze umístit a zjistit přesnou plochu A [m²], kterou pro FVE lze využít, bude plocha použitelná pro výstavbu. Volím tedy hodnotu o ploše 30 m². Z výpočtu určím počet panelů, které instaluji na střechu, tedy 18 ks FV panelů a o ploše jednoho FV panelu 1,62 m². Rozmístění bude po 6ks (jih), 6ks (západ), 6ks (východ).

$$P_{MPP} = A \cdot \eta \cdot G_{ref} [kWp] \quad (3.1)$$

kde η – účinnost FV panelu [%]

G_{ref} – referenční sluneční ozáření = 1000 W/m²

A – disponibilní plocha střechy

$$P_{MPP} = A \cdot \eta \cdot G_{ref} = 30 \cdot 0,191 \cdot 1 = 5,73 kWp = 5730 Wp \sim 18 ks (310 Wp)$$

5.5 Bilanční výpočet ročních přínosů FV instalací

Bilanční výpočet počítám bez pomoci programů jako je právě PVGIS. Výpočty lze provést i zjednodušeným způsobem. Bilanční výpočet nám umožňuje do výpočtu měsíční produkce fotovoltaických systémů zahrnout vliv teploty [°C] a slunečního ozáření [kWh/m²] s využitím specifických parametrů uvedených v produktových listech jednotlivých fotovoltaických panelů. Účinnost fotovoltaických modulů závisí na teplotě FV článků. S rostoucí teplotou se účinnost fotovoltaických modulů snižuje podle níže uvedeného vztahu (4.1).

$$\eta_{FV,t} = \eta_{ref} \cdot \left(1 + \frac{\gamma}{100} \cdot (t_{FV} - t_{ref}) \right) [\%] \quad (4.1)$$

kde η_{ref} – referenční účinnost FV panelu při normovaných zkušebních podmínkách (1000 W/m², 25°C)

t_{FV} – teplota FV článku = NOCT = 46 ± 2°C

t_{ref} – referenční teplota článku 25°C

γ – teplotní součinitel výkonu [%/K] pro daný modul

Výrobce obvykle v podkladech FV modulů uvádí výkonový teplotní součinitel γ jako procentní snížení výkonu vztaženého na 1 K zvýšení teploty oproti referenční teplotě článku. Součinitel γ a jeho hodnota je záporná. Teplotu fotovoltaického článku v provozu lze zjistit s využitím jmenovité provozní teploty článku *NOCT*. Tuto hodnotu uvádí výrobce pro předem definované provozní podmínky, které jsou odlišné od zkušebních podmínek jako jsou: sluneční ozáření $G = 800 \text{ W/m}^2$, teplota okolního vzduchu $t_e = 20 \text{ °C}$, rychlost větru 1 m/s a stav bez odběru elektrické energie z fotovoltaického článku (otevřený obvod). Vlastní energetickou bilanci fotovoltaického článku lze zjednodušeně vypočítat z rovnice:

$$\alpha \cdot G = \frac{\eta_{FV} \cdot G}{100} + U \cdot (t_{FV} - t_e) \quad (4.2)$$

kde α – pohltivost modulu

η_{FV} – elektrická účinnost FV modulu [%]

G – sluneční ozáření [W/m^2]

U – celkový součinitel tepelné ztráty z FV článku do okolí [$\text{W/m}^2\text{K}$]

t_{FV} – teplota FV článku = *NOCT* = $46 \pm 2 \text{ °C}$

t_e – teplota okolního vzduchu [°C]

Když se energetická bilance zapíše pro podmínky *NOCT* (otevřený obvod, $\eta_{FV} = 0$), tak se rovnice pro teplotu fotovoltaického článku popisuje právě *NOCT*.

$$t_{FV} = \text{NOCT} = t_e + \frac{\alpha \cdot G}{U} \quad (4.3)$$

Pokud uvažují pohltivost FV modulu $\alpha = (1-\rho)$, kde ρ je odrazivost modulu pohybující se při kolmém úhlu dopadu na úrovni cca **5 %**, tak lze z rovnice (3.3) stanovit jedinou neznámou a tou je součinitel tepelné ztráty z fotovoltaického článku do okolí.

$$U = \frac{0,95 \cdot 800}{(\text{NOCT} - 20)} \quad (4.4)$$

Součinitel tepelné ztráty zohledňují pro provedení vlastních FV modulů (tepelné odpory mezi vnějšími povrchy modulu a fotovoltaickým článkem, dále přestup tepla z obou povrchů do okolí). Provozní teplota FV článku se u jednotlivých modulů a technologií je rovna hodnotě od 33 °C do 58 °C . Typická provozní teplota je okolo 45 °C . Naše hodnota pro FV panel výrobce BEnQ je *NOCT* (46°).

Součinitel tepelné ztráty obsahuje vliv přestupu tepla prouděním a sáláním (proudění vzduchu 1 m/s). Pokud se podmínky proudění a sálání během roku příliš nekolísají (jako např. při výpočtu tepelných ztrát konstrukcí budov při výpočtu potřeby tepla), tak uvažujeme součinitel U během roku konstantní a podle rovnice (4.5) určíme pro každý měsíc střední teplotu fotovoltaického článku se znalostí průměrných klimatických podmínek v daných měsících podle vztahu:

$$t_{FV} = t_{e,s} + \frac{\alpha \cdot G_m - \eta_{FV} \cdot G_m / 100}{U} = t_{e,s} + \frac{G_m}{800} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{FV}}{\alpha \cdot 100}\right) (NOCT - 20) \quad (4.5)$$

kde $t_{e,s}$ – střední denní teplota venkovního vzduchu v době slun. svitu [$^{\circ}C$]

G_m – střední sluneční ozáření [W/m^2] = $500 W/m^2$

Účinnost modulů η_{FV} [%], kterou použijí ve vztahu (4.7), je zpětně závislá na teplotě t_{FV} , kterou ze vztahu získám. Jedná se o zdánlivé iterační řešení, kde použití hodnoty účinnosti η_{FV} a použití referenční účinnosti η_{ref} činí rozdíl ve výsledku teploty t_{FV} desetin K.

Účinnost fotovoltaického modulu závisí též na úrovni slunečního ozáření G . Ale s výjimkou tenkovrstvých (např. CdTe) modulů, kde se účinnost fotovoltaických modulů s klesajícím slunečním ozářením se snižuje logaritmicky dle vztahu:

$$\eta_{FV,G} = \frac{\eta_{FV} \cdot G}{100} + U \cdot (t_{FV} - t_e) \quad (4.6)$$

kde η_{ref} – referenční účinnost FV panelu při normovaných zkušebních podmínkách ($1000 W/m^2$, $25^{\circ}C$)

G – sluneční ozáření pro stanovení poklesu účinnosti, $G = 200 W/m^2$

G_{ref} – referenční ozáření $G_{ref} = 1000 W/m^2$

k – součinitel pro daný modul [–]

Výrobce v produktových listech k fotovoltaickým modulům běžně uvádí hodnotu relativního snížení účinnosti $\Delta\eta_G$ z $1000 W/m^2$ na $200 W/m^2$. Hodnota $\Delta\eta_G$ se uvádí běžně jako záporná. Z této hodnoty určím součinitel k podle vztahu:

$$k = \frac{\eta_{FV} - \eta_{ref}}{\eta_{ref}} \cdot \frac{1}{\ln\left(\frac{G}{G_{ref}}\right)} = \frac{\Delta\eta_G}{\ln\left(\frac{G}{G_{ref}}\right)} \quad (4.7)$$

S touto hodnotou získám účinnost na jiné podmínky ozáření. Tato hodnota „ k “ se uvádí ve výpočtech jako kladná hodnota.

Celková měsíční účinnost modulu η_{FV} [%] se stanoví použitím korigovaných účinností ze vztahů (4.7) a (4.1) jako

$$\eta_{FV} = \frac{\eta_{FV,t} - \eta_{FV,G}}{\eta_{ref}} \quad (4.8)$$

Dosazením a následnou úpravou se získá komplexní rovnice pro měsíční účinnost na základě středních měsíčních hodnot klimatických podmínek a parametrů modulu získaných z produktových listů FV modulů. [14]

$$\eta_{FV} = \eta_{ref} \cdot \left(1 + \frac{\gamma}{100} \cdot \left(t_{e,s} + \left(1 - \frac{\eta_{ref}}{\frac{100}{0,95}} \right) \frac{G_m}{800} (NOCT - 20) - 25 \right) \right) \cdot 1 + k \ln \frac{G_m}{1000} \quad (4.9)$$

Měsíční produkci elektrické energie FV systémem $E_{FV, sys}$ [kWh/měs] stanovím na základě měsíčních klimatických podmínek a předpokládaných elektrických ztrát z celkové měsíční účinnosti FV modulu podle vztahu:

$$E_{FV,sys} = 0,9 \cdot \frac{\eta_{FV}}{100} \cdot H_T \cdot A_{FV} \cdot \left(1 - \frac{p}{100} \right) 0,9 \cdot \frac{P_{pk}}{G_{ref}} \cdot H_T \cdot U \cdot \frac{\eta_{FV}}{\eta_{ref}} \cdot \left(1 - \frac{p}{100} \right) \quad (4.10)$$

- kde H_T – měsíční úhrn slunečního svitu [kWh/m² .měsíc]
 A_{FV} – činná plocha instalovaných modulů = 1,62 m² = 1 panel
 P_{pk} – špičkový výkon instalovaných modulů = 0,31 kW
 η_{FV} – měsíční účinnost modulů [%]
 η_{ref} – referenční účinnost modulů [%]
 G_{ref} – referenční sluneční ozáření 1kW /m²
 p – srážka vlivem elektrických ztrát = $f_{perf} = 8 \%$

„Elektrické ztráty rozvodu v budově je možné zjednodušeně uvažovat následovně: ztráty na DC vedení 2 %, ztráty na měniči a sledovači výkonového maxima okolo 5 % a ztráty na AC vedení cca 1 %. Optické ztráty vlivem nekolmého úhlu dopadu slunečního záření během roku na FV moduly jsou v rovnici zohledněny konstantou 0,9.“ [14]

Fotovoltaický modul (mono)	P_{pk} [kW]	$E_{FV, sys}$ [kWh/rok]	$E_{FV, sys}$ [kWh/červenec]	η_{sys} [%]	f_{perf} [-] silně větrané
Sklon 35°	0,31	245,718	33,62	15,28	0,8
Sklon 43°		243,93	32,39		

Tabulka 15 Výsledky produkce FV modulu pro bilanční metodu

Vzhledem k červencové spotřebě energií, která činila za rok za rok 2017 (403 kWh) viz. (Tabulka 1) lze snadno dopočítat kolik panelů bude potřeba umístit na jižní stranu střechy, aby byla pokryta červencová spotřeba. Výpočet potřebného počtu FV panelů o výkonu 310 Wp výrobce SunVivo za předpokladu využití hodnot z PVGIS pro sklon 43°.

$$FV_{ks} = \frac{S_{NT+VT_{17}}}{E_{P_{\text{červenec}}}} \quad (5.1)$$

kde FV_{ks} – počet FV panelů [ks]

$E_{P_{\text{červenec}}}$ – měsíční produkce elektřiny 1 ks panelu o výkonu 310 Wp

$S_{NT+VT_{2017}}$ – spotřeba elektřiny za rok 2017

$P_{dní}$ – počet dní (červenec)

$$FV_{ks_{2017}} = \frac{S_{NT+VT_{2017}}}{E_{P_{\text{červenec}}}} = \frac{403}{35,6} = 11,32 \approx 12 \text{ ks}$$

Výpočet kolik kWh nám vyrobí systém s 12 ks fotovoltaických panelů v červenci, který má 31 dnů a spotřeba RD je 403 kWh. Víme, že hodnota vyprodukovaná 12 FV panely je rovna 427,2 kWh, tedy splňuje pokrytí měsíční spotřeby za červenec 2017. Toto rozmístění však používat nebudeme. Na jižní stranu použijeme pouze 6 ks FV panelů, zbylé panely rozmístíme na západ a východ. Snažím se tedy navýšit počet FV panelů a zajistit určitou míru rezervy. Potvrdilo se, že odchylka celoroční produkce elektrické energie mezi instalací FVE na střechu domu pod úhlem 43° a s optimálním sklonem 35° činí hodnotu do 5 % celoročního výnosu elektrické energie, viz. (Graf 11).

5.6 Srovnání výpočtových metod

Pomocí výše zvolených výpočtových metod jsem se dopočítal k měsíčním produkcím elektřiny z 1ks FV panelu typu BenQ SunVivo o výkonu 310 W pro optimální sklon FVE a sklon střechy objektu.

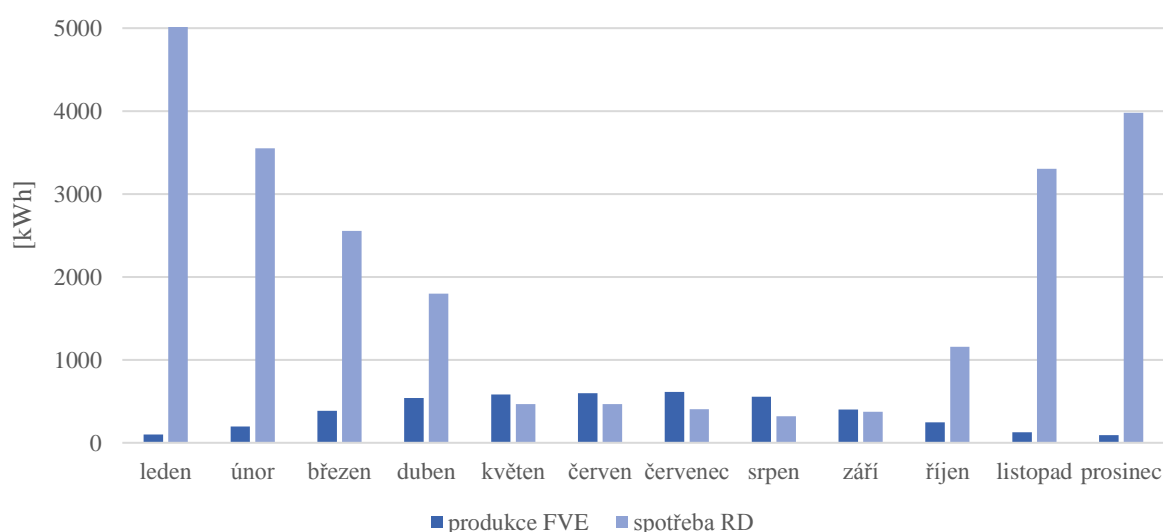
Srovnání hodnot celoročního výnosů 1ks panelu [kWh/rok]	PVGIS	ČSN	Plocha střechy RD	Zjednodušená bilanční metoda
Sklon FVE 43°	283,41	295,76	309,42	243,93
Sklon FVE 35°	285,65	297,99		245,718

Tabulka 16 Srovnání hodnot celoročního výnosů 1ks panelu

Z důvodu značné složitosti rozmístění FV panelů na střechu RD a cíle pokrytí spotřeby energií, kdy se nevytápí elektřinou. Spotřeba elektřiny v tomto období je rovna 2030 kWh. Po uvážení, zda umístit panely pouze na jižní stranu střechy, kde je produkce elektřiny nejvyšší, ale prostor pro umístění FV panelů omezený jsem se rozhodl pro rozmístění pomocí 2 stringů. Jeden string bude (6ks na jih, 6ks východ) a druhý 6ks západ. Celoroční pokles produkce bude do 5 % a tak tuto ztrátu zanedbávám vzhledem k navýšenému výkonu oproti původnímu rozmístění pouze na jih. Jako vstupní data pro další výpočty jsem zvolil data z PVGIS, a to z důvodu největší přesnosti produkce. Topná sezóna je oddělena pomocí symbolu (*) v tabulce. V Grafu 12. je znázorněno úspěšné pokrytí spotřeb elektřiny objektu vzhledem ve spotřebě.

43°	Produkce FVE dle PVGIS [kWh]				Spotřeba elektřiny v RD
	6 ks východ 1,86 kWh	6 ks jih 1,86 kWh	6ks západ 1,86 kWh	Σ 5,58 kWh	
leden*	27,6	46,92	26,94	101,46	5234
únor*	54,84	86,4	53,52	194,76	3550
březen*	114	159,6	112,2	385,8	2554
duben*	171,6	204,6	162,6	538,8	1798
květen	194,4	205,2	182,4	582	468
červen	201	207	191,4	599,4	466
červenec	206,4	213,6	193,8	613,8	403
srpen	180	205,2	169,2	554,4	320
září	124,8	160,8	117	402,6	373
říjen*	69,6	106,2	70,8	246,6	1156
listopad*	34,74	58,8	34,32	127,86	3302,9
prosinec*	24,12	46,14	23,16	93,42	3980
Σ [kWh]	1403,1	1700,46	1337,34	4440,9	23605,9

Tabulka 17 Produkce FVE 18 ks panelů

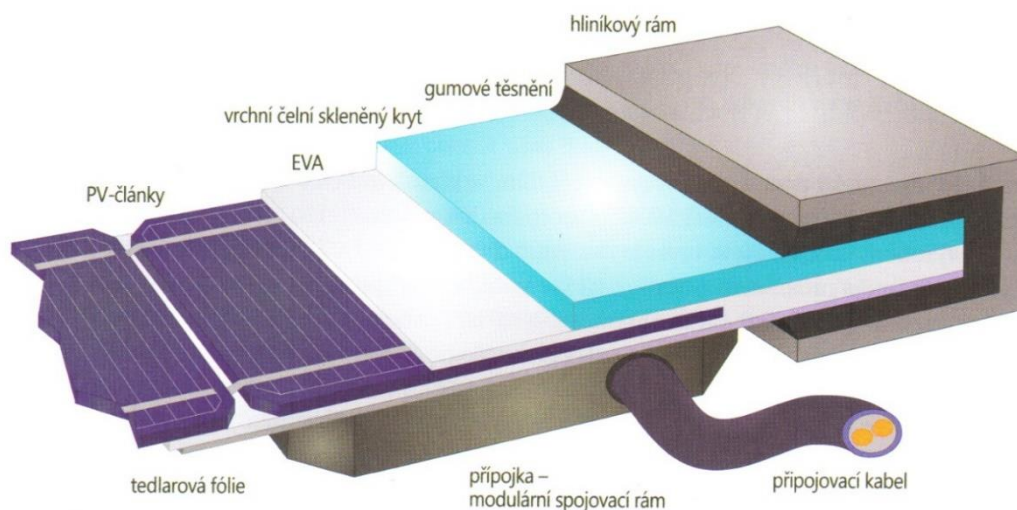


Graf 12 Produkce FVE v závislosti na spotřebě RD

6 Návrh vhodné technologie FVE

6.1 Fotovoltaické panely

V nejbližších letech zůstane krystalický křemík jedním z nejdůležitějších materiálů pro výrobu článku (většinou o rozměrech 200x200 mm). Jednotlivé panely se dělí podle technologie jejich výroby. Monokrystalické se řadí mezi nejvýkonnější na m². Polykrystalické mají o něco menší účinnost, ale lépe absorbují difuzní záření. Mají tedy větší využití na umístění v horších úhlech. Tenkovrstvé a amorfni panely mají zdaleka nejnižší účinnost na m², ale zdaleka nejvyšší výkon při difuzním záření. Vyžadují ale 2,5krát větší plochu. [13]

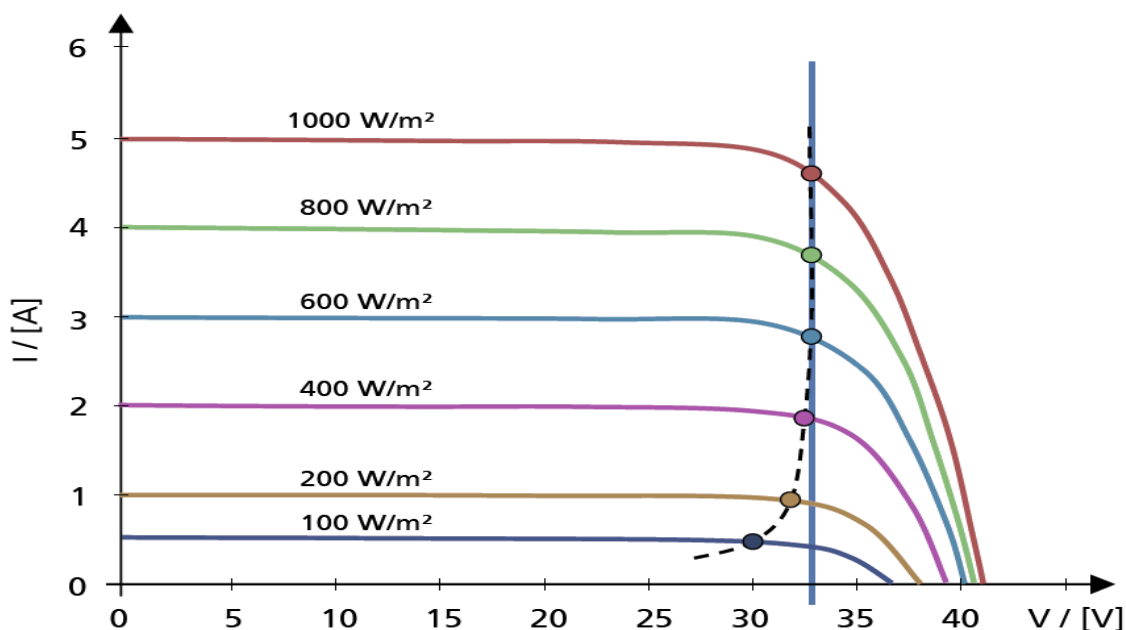


Obrázek 13 Základní konstrukce FV panelu [13]

Jako technologii zvolenou pro výstavbu FVE na střechu RD jsem zvolil monokrystalický panel značky BENQ Solar SunVivo viz. Produktový list (Obrázek 17. a 18.) a to z několika důvodů, kterými jsou výkonový rozsah 290-310 Wp, nejvyšší hodnota součinitele špičkového výkonu a účinnost jako článku takového. Cena 1ks BENQ SunVivo panelu je 3 990 Kč/ks. Viz produktové listy. (Příloha 2. a Příloha 3.)

6.2 Měníč DC/AC

Měníč (inventor, střídač) umožňuje propojení mezi fotovoltaickými panely či samotným modulem a sítí střídavého proudu nebo spotřebičem. Funkce měniče je převádět vyrobený stejnosměrný proud (DC) na střídavý proud (AC) a přizpůsobovat jej na frekvenci a napětí sítě. Dnes již probíhá převod na střídavý proud pomocí výkonové elektroniky, která má malé ztráty. Do výkonu kolem 5 kW bývá měnič připojen na síť NN (230 V) jednofázově.



Graf 13 Voltampérová charakteristika krystalického panelu při různém osvětlení [17]

Od měniče je požadováno, aby do sítě dodával maximální výkon, proto musí pracovat v bodě maximálního výkonu (MPP) fotovoltaických modulů, kde využijeme právě dva integrované MPPT regulátory pro naše 2 stringy. Vlivem změny osvětlení a teploty modulů se mění i dodávaný výkon do měniče. Ten pak musí neustále měnit pracovní bod na maximální hodnotu (MPP) změnou napětí modulů. Tuto změnu zajišťuje regulátor MPP. Ve většině měničů jsou zabudována různá stejnosměrná i střídavá ochranná zařízení (např. ochrana proti přepólování, ochrana před přetížením, monitorování izolace a síťová ochranná zařízení). Z důvodu doporučení bude volen střídač firmy GoodWe, a to různý pro FVE s ukládáním do Vody a FVE s akumulací do baterií. [10]

6.2.1 GoodWE GW3648-EM pro FVE s akumulací do baterií

Jedná se o jednofázový hybridní měnič o výkonu 3,68 kW s integrovanými 2 MPPT regulátory (regulátory nabíjení), který lze použít i při čistě ostrovním režimu, bez vazby na DS. Cena tohoto měniče je 47 293 Kč.



Obrázek 14 GoodWE GW3648-EM [18]

6.3 Bateriové uložení

Jednotlivý battery pack má uloženou kapacitu 2,4kWh a není třeba ho kvůli propojení komunikace uchovávat ve speciálním kontejneru jako BYD – typicky až do 4,8kWh. Doporučený nabíjecí proud na 1 baterii je 25 A.

6.3.1 Bateriové uložení Pylontech LiFePO4

Jedná se o inteligentní baterie pro malé a střední hybridní systémy, LiFePO4 články s nominálním napětím 48 V s kapacitou 2,4 kWh, rack a možnosti paralelně spojovat bloky do větších celků – až 8 ks (19 kWh). Cena toho racku je 30 194 Kč.



Obrázek 15 Bateriové uložení Pylontech [19]

7 Model výstavby HFVE

K modelování HFVE a RD jsem použil program společnosti Autodesk Inventor Professional. Jako podklady jsem použil původní výkresovou dokumentaci rodinného domu.

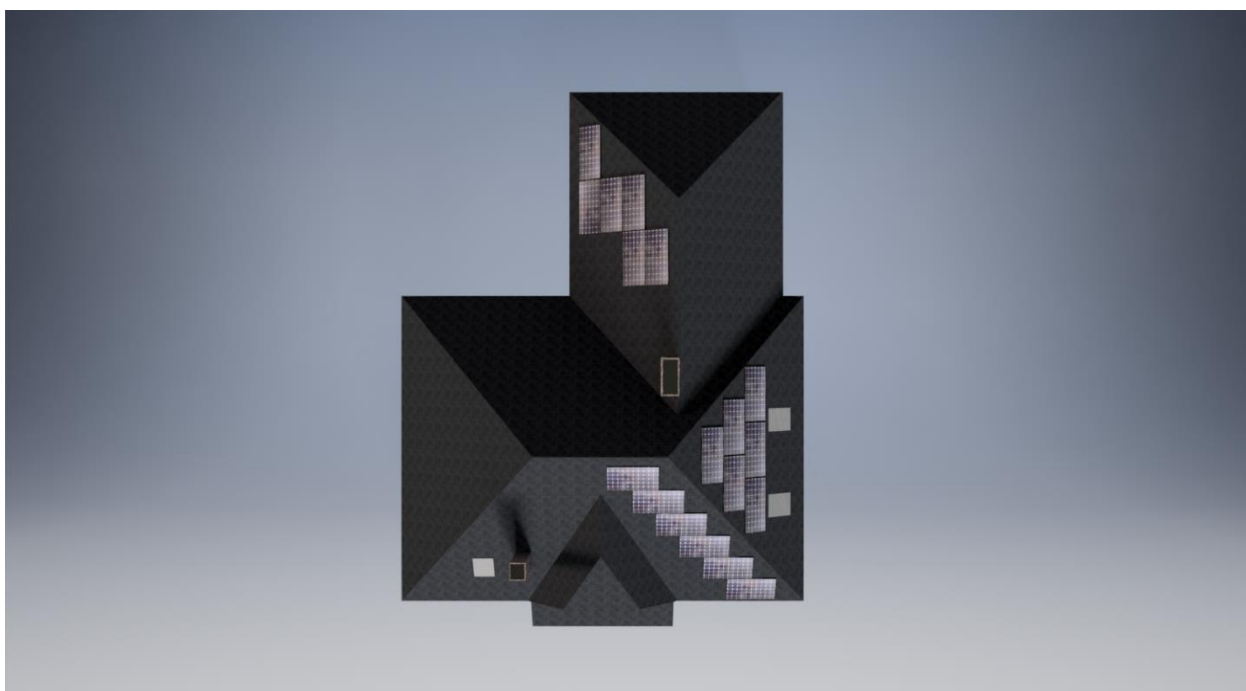
7.1 HFVE (5,58 kWp, 18 panelů, sklon 43°) s akumulací do baterií

Sklon fotovoltaiky je 43°. Tento systém pokryje dle výpočtů spotřebu celého letního období. Letní období (květen-září), kdy zisk HFVE s 18 moduly je 2752,2 kWh (Tabulka 15.) a spotřeba objektu činí 2030 kWh (Tabulka .1). Lze říci, že HFVE pokryje v tomto období spotřebu objektu. Celá FVE o instalovaném výkonu 415,58 kWp zajistí tedy pokrytí spotřeb v letním období a v zimním období sníží spotřebu elektřiny a sníží tak celoroční náklady za elektřinu.

	Ukládání do akumulátorů
Zelená úsporám	C 3.7
Velikost elektrárny	5,58 kWp
Roční výroba	4400–5400 kWh
Přebytky	Akumulace do baterií
Počet FV panelů	18 ks
Sklon FVE	43°
Typ FV panelů	BenQ Sun Vivo 310 Wp
Střídač	Hybridní GoodWe GW3648-EM s funkcí záložního zdroje
Inteligentní regulátor	-
Akumulátory	lithiové baterie Pylontech US2000B+; 7,2 kWh (3ks rack) (6,975 kWh) LifePo4

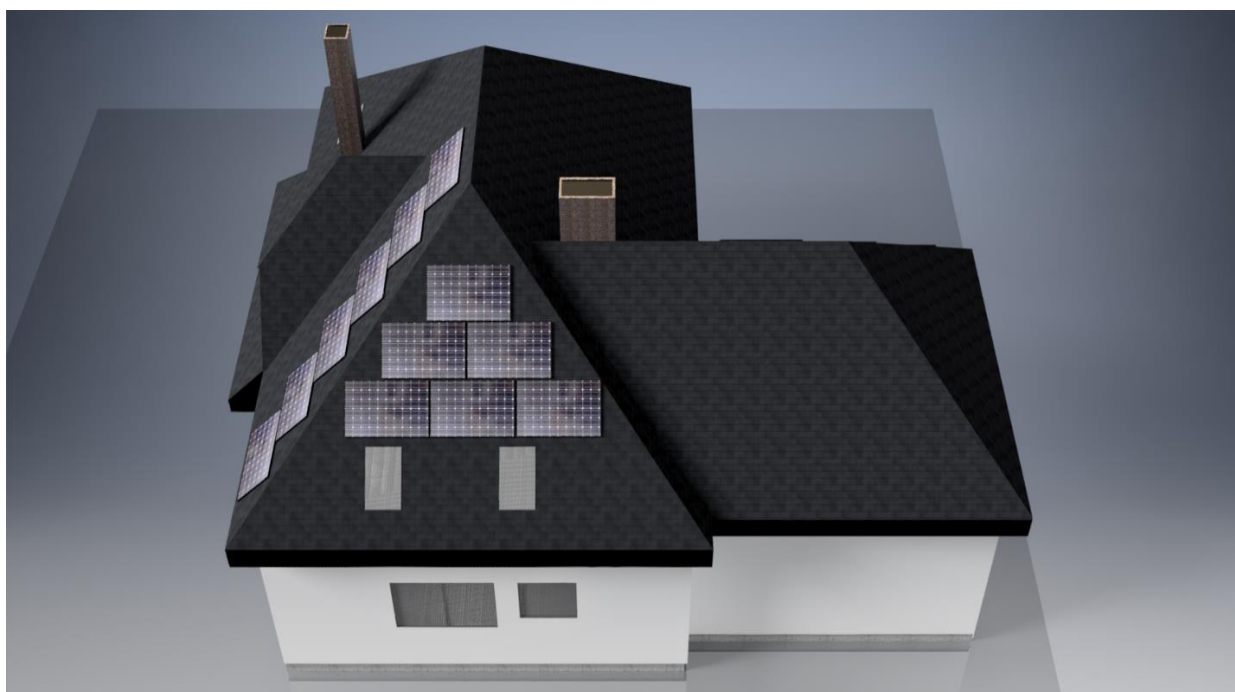
Tabulka 18 Shrnutí komponentů FVE

7.1.1 Model FVE v RD



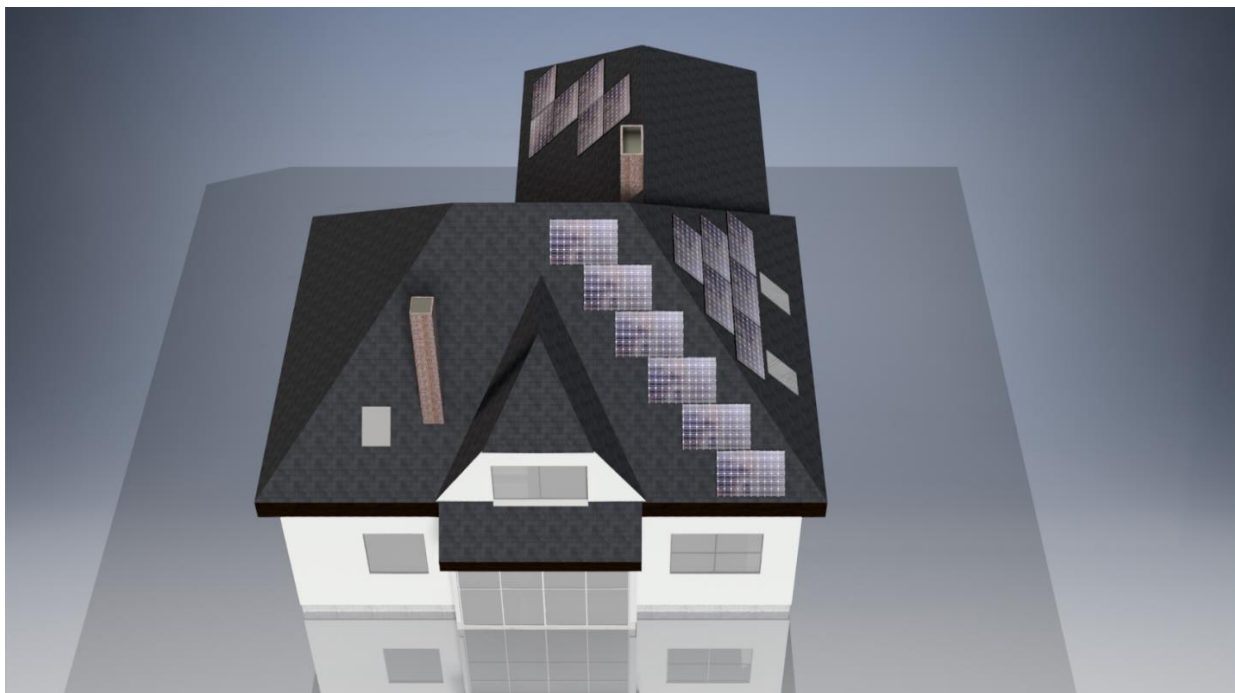
Obrázek 16 Model FVE

7.1.2 Východní strana



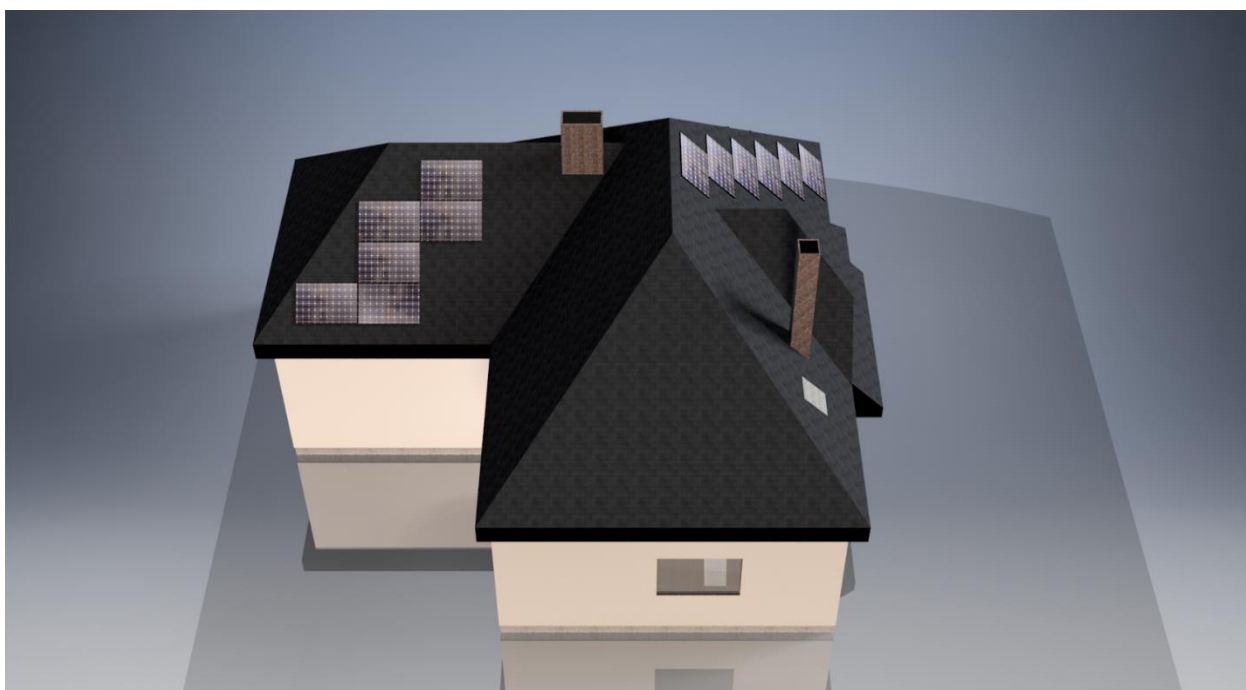
Obrázek 17 Východní strana, Model FVE

7.1.3 Jižní strana



Obrázek 18 Jižní strana, Model FVE

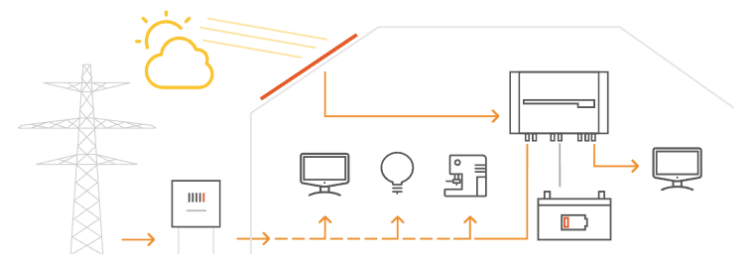
7.1.4 Západní strana



Obrázek 19 Západní strana, Model FVE

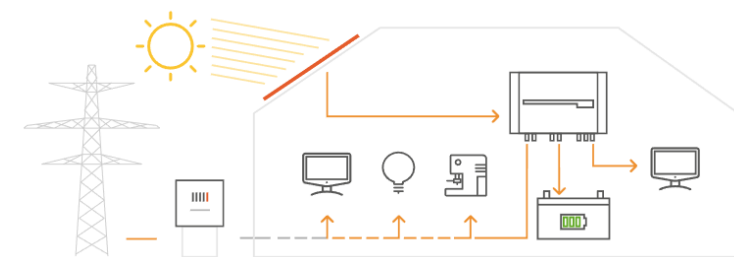
7.1.5 Funkce instalované HFVE

Ráno, kdy domácnost začíná spotřebovávat elektřinu, ale produkce elektřiny není dostatečně vysoká na to, aby pokryla tuto spotřebu. Pracuje HFVE společně s distribuční sítí. Elektřina vyrobená z HFVE se akumuluje v bateriovém uložení, nebo zásobuje menší spotřebiče.



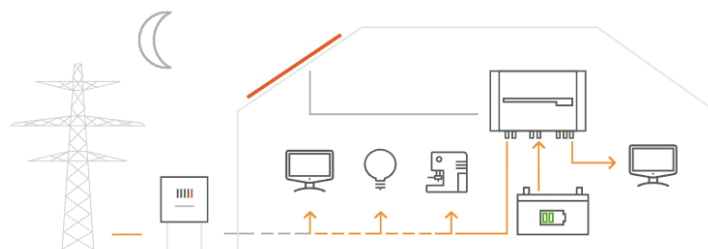
Obrázek 20 Ráno [20]

V poledne, kdy produkce elektřiny dosahuje maximálního bodu se energie akumuluje převážně do baterií a odběr elektřiny z distribuční sítě je nulový. V rodinném domě se nikdo nevyskytuje a HFVE dokáže pokrýt spotřebu spotřebičů které jsou v nepřetržitém chodu.



Obrázek 21 Poledne [20]

Večer, kdy je bateriové uložení plně nabitě lze domácnost zásobovat elektřinou právě z tohoto zdroje a distribuční síť nemusíme využívat. Pokud by při večerních hodinách došlo k silné bouři a domácnost byla odpojena od DS, tak právě díky tomuto opatření může domácnost dále fungovat.



Obrázek 22 Večer [20]

8 Ekonomické zhodnocení

8.1 Nová zelená úsporám C.3.7

8.1.1 Podmínky podoblasti podpory C.3.4, C.3.5, C.3.6, C.3.7 – fotovoltaické systémy propojené s distribuční soustavou

Maximální instalovaný výkon systému pro získání podpory nesmí být vyšší než 10 kWp, přičemž systém musí být připojen k DS. Tato podpora se vztahuje na systému instalované po 1.1.2016. FVE musí být umístěna na objektu evidovaném v katastru nemovitostí, popřípadě na jiné stavbě ležící na pozemku. V systému musí být měnič s minimální účinností 94 % a technologií pro sledování bodu maximálního výkonu s minimální účinností přizpůsobení 98 %. U měniče určeného k přeměně stejnosměrného napětí (DC) z elektrických akumulátorů na střídavé napětí (AC) napětí používané ve vnitřních rozvodech (hybridní měniče) se připouští minimální účinnost 92 %. Minimální účinnost (vztažena k celkové ploše FV modulu) při STC je:

- 15 % pro panely a moduly složené z mono – a polykrystalických článků;
- 10 % pro panely a moduly složené z tenkovrstvých amorfních článků;
- bez požadavku pro fotovoltaické střešní krytiny a fasádní systémy a jiné než plošné kolektory (např. trubicové)

Využití vyrobené elektřiny pro krytí spotřeby v místě výroby musí být alespoň 70 % z celkového teoretického zisku systému, kde zohledňujeme klimatická data, parametry FV modulů, ztráty v rozvodech, parametry měniče a dalších komponent systému a stanoví se přesným výpočtem nebo zjednodušeně ze špičkového instalovaného výkonu jako: $Q_{FV, celk}[kWh.rok^{-1}] = P_{inst}[kWh.rok^{-1}].1000$.

Špičkový instalovaný výkon FV systémů zaokrouhlujeme na setiny kWp směrem dolů. Systém zajišťuje automatické řízení systému v závislosti na aktuální spotřebě a výrobě elektrické energie s prioritním využitím pro krytí okamžité spotřeby elektrické energie (zařízení pro optimalizaci vlastní elektrické energie) a akumulaci přebytků energie. [14]

8.1.2 Podoblast podpory C.3.7 – FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 4\,000\text{ kWh.rok}^{-1}$.

- „*Systém musí dosáhnout alespoň minimálního využitelného zisku $4\,000\text{ kWh.rok}^{-1}$*
- *Systém musí umožnit akumulaci přebytků energie ve formě elektřiny. Minimální měrná kapacita akumulátoru je $1,75\text{ kWh.kWp}^{-1}$ instalovaného výkonu. Jsou-li v systému použity akumulátory využívající moderních technologií umožňující využít vysoký počet hlubokých vybíjecích cyklů bez výrazné ztráty kapacity, lze uvažovat se sníženým požadavkem na minimální měrnou kapacitu akumulátorů, nejméně však $1,25\text{ kWh.kWp}^{-1}$. Za tyto technologie jsou považovány zejména akumulátory na bázi lithia (Li-on, LiFeYPO₄, LiFeYPO). Snížený požadavek nelze uplatnit pro akumulátory na bázi olova (vč. gelových, AGM a trakčních), Ni-MH, Ni-Fe.“ [14]*

8.1.3 Výše podpory pro podoblast podpory C.3.7

Podoblast podpory	Typ systému	Výše podpory [Kč/dům]
C.3.7	FV systém s akumulací energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 4\,000\text{ kWh.rok}^{-1}$	150 000,-

Tabulka 19 Výše podpory pro podoblast C.3.7

8.2 Náklady

Ekonomické zhodnocení výstavby FVE 5,58 kWp (bez uvažování zvyšující se ceny za elektřinu)			
Oblast výstavby		Praha-západ	
Plocha instalované FVE		30 m ²	
Typ střechy		valbová	
Instalovaný výkon FVE	Východ	1,86 kWp	
	Jih	1,86 kWp	
	Západ	1,86 kWp	
Celkový instalovaný výkon		5,58 kWp	
Roční produkce FVE	Východ	1403,1 kWh	
	Jih	1700,46 kWh	
	Západ	1337,34	
Celková roční produkce FVE		4440,9 kWh	
Sklon FVE		43°	
Použitá technologie	FV panely	BenQ SunVivo PM060MW2/PM060MB2 Mono-Crystaliline 310 Wp	
	Střídač	GoodWE GW3648-EM/ 2xMPPPT	
	Bateriové uložení	PylonTech LiFePO4 /48 V 2,4 kWh/rack (3ks)	
Roční spotřeba elektřiny v RD	NT	23150	kWh
	VT	455,9	kWh
	VT + NT	23605,9	kWh
topná sezóna	VT + NT	21265	kWh
letní sezóna	VT + NT	2340,9	kWh
Cena elektřiny	NT	1,57	Kč/kWh
	VT	1,88	Kč/kWh
Cena elektřiny/ rok	NT	36345,5	Kč/kWh
	VT	847,97	Kč/kWh
Výše podpory „Nová zelená Úsporám“		150 000,0 Kč	
Náklady (odhad)	Bateriové uložení 3ks/rack	90 582,0 Kč	
	FV panel 18ks	72 000,0 Kč	
	Střídač	47 293,0 Kč	
	Kabeláž	10 000,0 Kč	
	Nosná konstrukce	10 000,0 Kč	
	Práce	10 000,0 Kč	
Celkové náklady na výstavbu s NZÚ		89 875 Kč	
Roční úspora za elektřinu s FVE		7 186,86 Kč	
Cena za elektřinu za rok + FVE		30 006,62 Kč	
Návratnost investice		12,5 let	

Tabulka 20 Ekonomické zhodnocení výstavby 5,58 kWp FVE

8.3 Doba návratnosti

Doba, za kterou se nám určitá investice vrátí, je pochopitelně informací, která zajímá každého investora, bez ohledu na výši investovaných peněžních prostředků. Vedle dalších metod analýzy investic, je doba návratnosti také důležitým porovnávacím kritériem investičních projektů. Platí to jak pro investiční společnosti, tak i pro těžební firmy. Doba návratnosti se využívá v několika variantách. V základní (zjednodušené) variantě se zpravidla definuje jako:

- doba (počet let), za kterou se peněžní příjmy z investice vyrovnají
- počáteční kapitálový výdaj na investici

Při bližším rozboru výše uvedené definice je zcela zřejmé, že jde o vyjádření tzv. **prosté doby návratnosti**. Tato forma vyjádření a stanovení doby návratnosti je nejjednodušší, ale také nejméně vhodnou formou výpočtu uvedeného parametru. Je paradoxem, že na druhé straně se jedná o velmi často v praxi používané kritérium. Jeho použití si lze představit především pro rychlé orientační ocenění určité investiční příležitosti, případně pro rychlou kontrolu, zda určitá investiční příležitost je vůbec v podmínkách určité firmy reálná. Výpočet prosté doby návratnosti probíhá podle vzorce: [12]

$$RN_p = \frac{IN}{CF} \quad (6.1)$$

kde IN – náklady na investici (investiční výdaj)

CF – roční peněžní tok (roční příjem – úspora nákladů v důsledku v důsledku investice)

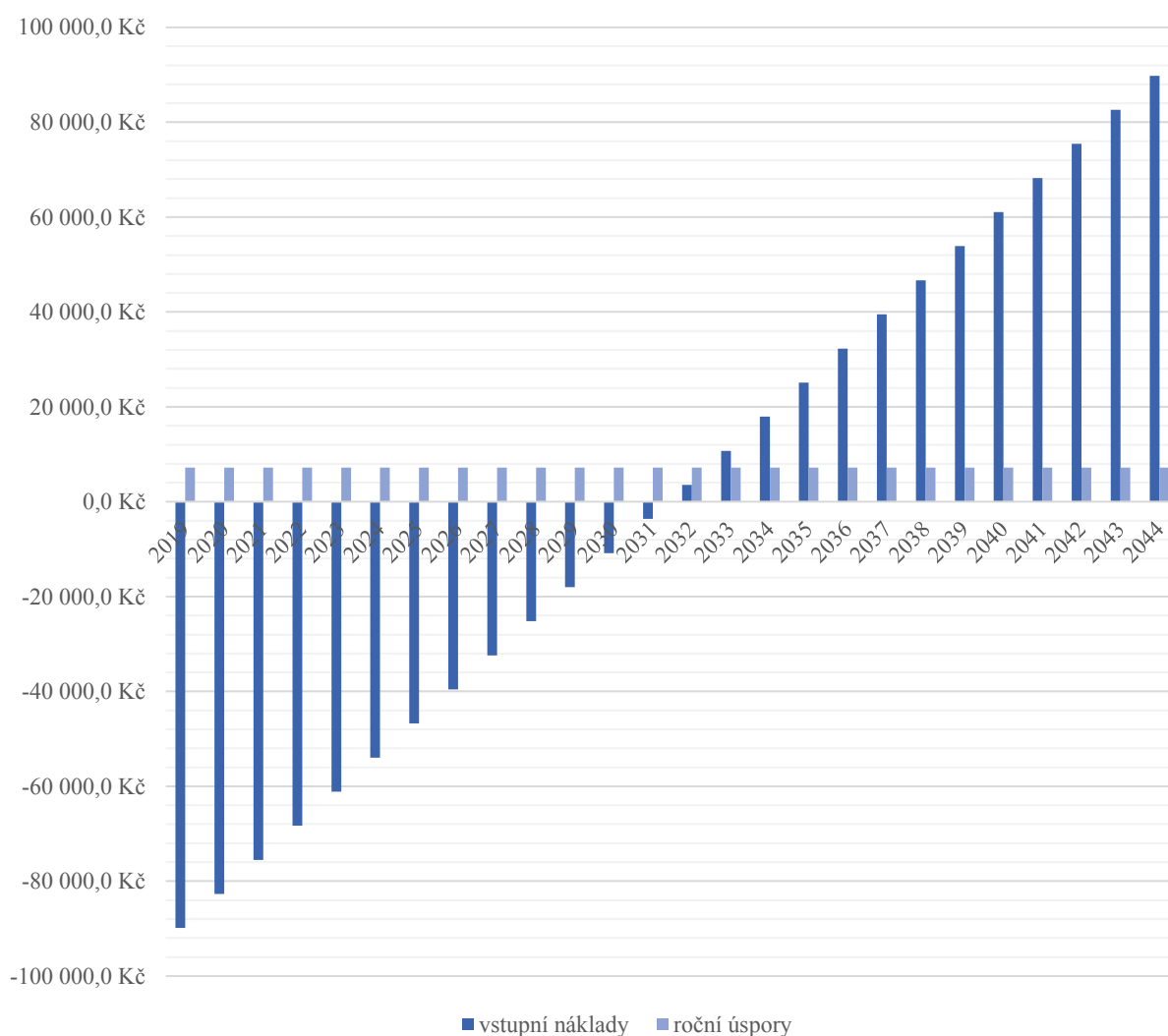
$$RN_p = \frac{IN}{CF} = \frac{239\,875 - 150\,000}{7\,186,86} \sim 12,5 \text{ let}$$

8.4 Citlivostní analýza

8.4.1 Bez uvažování zvyšující se ceny za elektřinu

Při uvažování ročních úspor za elektřinu 7 186,86 Kč, stálé ceny za elektřinu a celkovým nákladům na výstavbu 239 875 Kč po získání dotační podpory 150 000 Kč díky podpoře Nová zelená úsporám dojdeme k výsledné návratnosti 12,5 let. A to bez uvažování investic jako je výměna FV panelů (25 let), střídače (10 let), bateriového uložení (15 let) a jejich snížení účinnosti. Za 25 let od výstavby nám FVE s výkonem 5,58 kWp a roční produkcí 4440,9 kWh ušetří 89 796,5 Kč.

Závislost VN na RÚ při stálé ceně za elektřinu

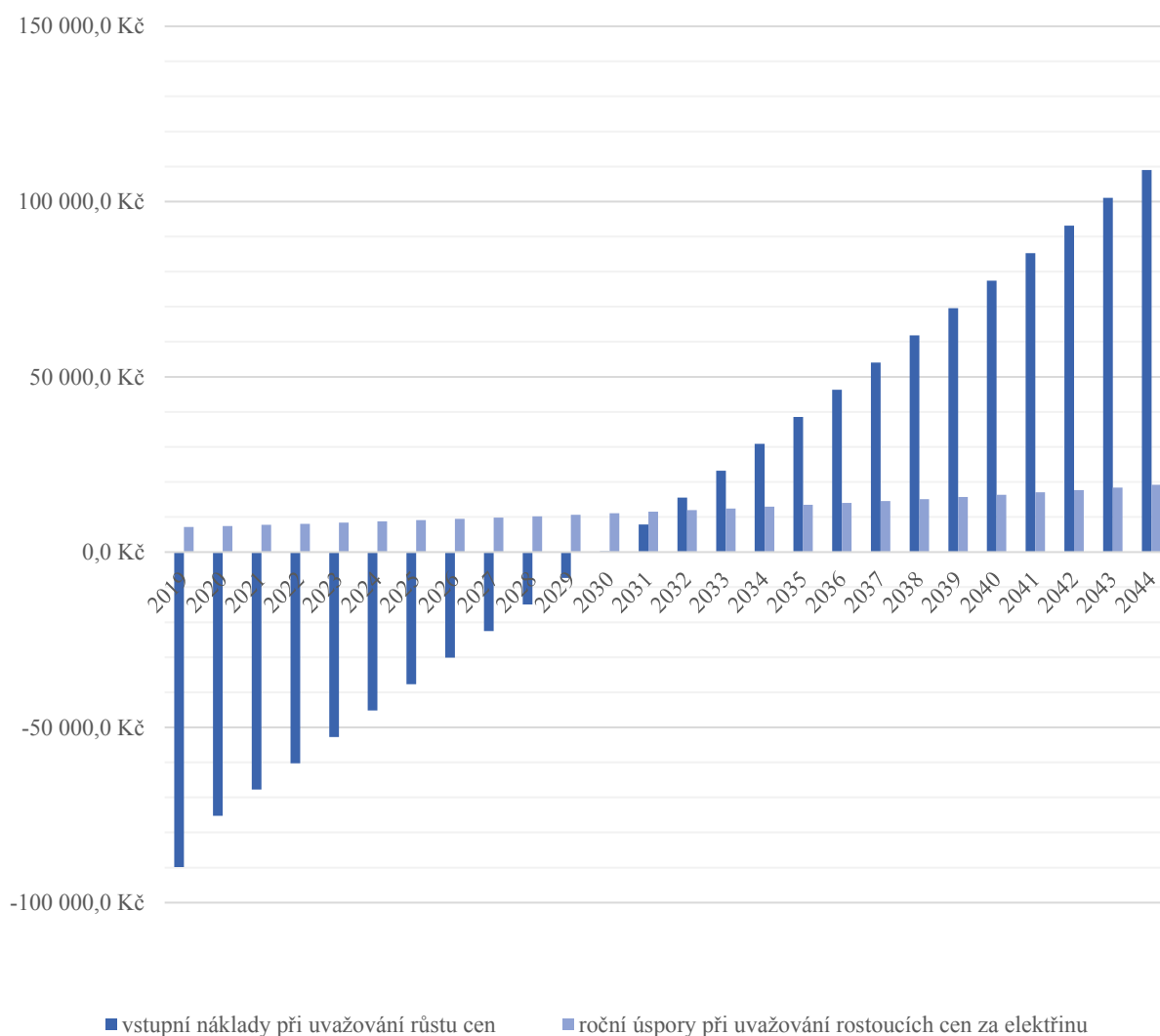


Graf 14 Závislost VN na RÚ při ideálních podmínkách

8.4.2 Uvažování růstu cen za elektřinu

Při uvažování zvyšující se ceny za elektřinu o 3 % ročně, bez uvažování výměny komponentů se sníží návratnost o 1,5 roku. Návratnost investice se sníží na 11 let. Pokud uvažují růst cen elektřiny v rozmezí 2–6 %. Celá doba návratnosti by se při vyšším růstu cen snižovala o několik let a při nižším růstu cen za elektřinu by se návratnost naopak snižovala.

Závislost VN na RÚ při uvažování růstu cen za elektřinu



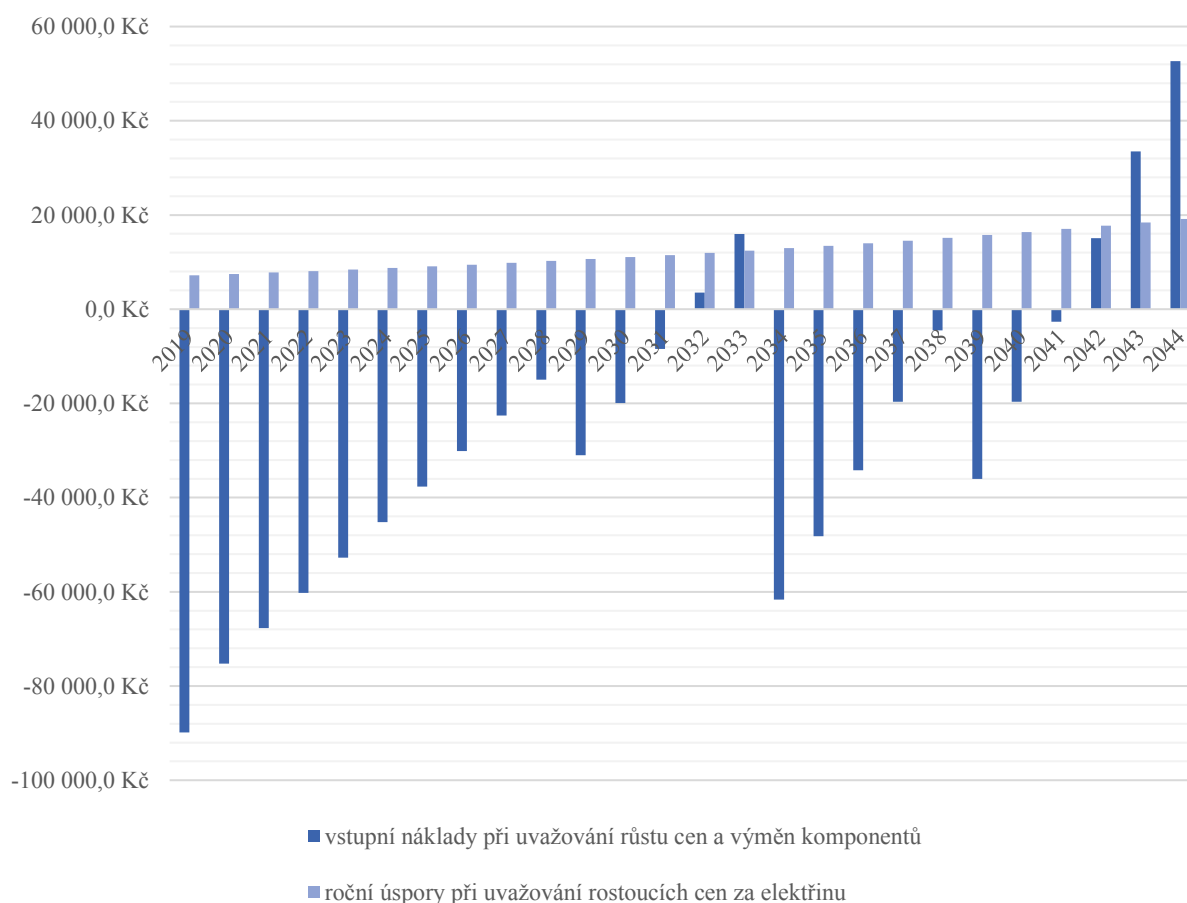
Graf 15 Závislost VN na RÚ při uvažování růstu cen za elektřinu

8.4.3 Uvažování růstu cen za elektřinu a výměnu komponent FVE

Při zvyšující se ceně za elektřinu, a to o 3 % ročně a uvažování výměn komponentů, kde životnost střídače je obecně uvažovaná 10 let, u fotovoltaické panelů 25 let a bateriového uložení 15 let. Výsledná návratnost díky těmto výměnám a investicím s nimi spojenými dosahovala 21 let.

Důležité ale je, že v této situaci není zahrnuto snižování cen fotovoltaických panelů, bateriových uložení a střídačů. Výsledná doba návratnosti může být ve skutečnosti za 25 let odlišná a zásadně nižší.

Závislost VN na RÚ při uvažování růstu cen za elektřinu a životnost komponentů



Graf 16 Závislost VN na RÚ při uvažování růstu cen za elektřinu a životnost komponentů

8.4.4 Tok financí v budoucích 25 letech

rok	Stálá cena za elektřinu		Uvažování rostoucích cen za elektřinu o 3 % ročně		Uvažování růstu cen za elektřinu a výměn komponentů (viz Tabulka 22)	
	VN	RÚ	VN	RÚ	VN	RÚ
2019	-89 875,0 Kč	7 186,9 Kč	-89 875,0 Kč	7 186,9 Kč	-89 875,0 Kč	7 186,9 Kč
2020	-82 688,1 Kč	7 186,9 Kč	-75 213,8 Kč	7 474,3 Kč	-75 213,8 Kč	7 474,3 Kč
2021	-75 501,3 Kč	7 186,9 Kč	-67 728,0 Kč	7 773,3 Kč	-67 728,0 Kč	7 773,3 Kč
2022	-68 314,4 Kč	7 186,9 Kč	-60 230,2 Kč	8 084,2 Kč	-60 230,2 Kč	8 084,2 Kč
2023	-61 127,6 Kč	7 186,9 Kč	-52 720,0 Kč	8 407,6 Kč	-52 720,0 Kč	8 407,6 Kč
2024	-53 940,7 Kč	7 186,9 Kč	-45 196,8 Kč	8 743,9 Kč	-45 196,8 Kč	8 743,9 Kč
2025	-46 753,8 Kč	7 186,9 Kč	-37 660,2 Kč	9 093,7 Kč	-37 660,2 Kč	9 093,7 Kč
2026	-39 567,0 Kč	7 186,9 Kč	-30 109,6 Kč	9 457,4 Kč	-30 109,6 Kč	9 457,4 Kč
2027	-32 380,1 Kč	7 186,9 Kč	-22 544,4 Kč	9 835,7 Kč	-22 544,4 Kč	9 835,7 Kč
2028	-25 193,3 Kč	7 186,9 Kč	-14 964,1 Kč	10 229,1 Kč	-14 964,1 Kč	10 229,1 Kč
2029	-18 006,4 Kč	7 186,9 Kč	-7 368,1 Kč	10 638,3 Kč	-31 014,6 Kč	10 638,3 Kč
2030	-10 819,5 Kč	7 186,9 Kč	244,3 Kč	11 063,8 Kč	-19 950,8 Kč	11 063,8 Kč
2031	-3 632,7 Kč	7 186,9 Kč	7 873,7 Kč	11 506,4 Kč	-8 444,4 Kč	11 506,4 Kč
2032	3 554,2 Kč	7 186,9 Kč	15 520,8 Kč	11 966,7 Kč	3 522,3 Kč	11 966,7 Kč
2033	10 741,0 Kč	7 186,9 Kč	23 186,4 Kč	12 445,3 Kč	15 967,6 Kč	12 445,3 Kč
2034	17 927,9 Kč	7 186,9 Kč	30 871,0 Kč	12 943,1 Kč	-61 671,3 Kč	12 943,1 Kč
2035	25 114,8 Kč	7 186,9 Kč	38 575,6 Kč	13 460,9 Kč	-48 210,4 Kč	13 460,9 Kč
2036	32 301,6 Kč	7 186,9 Kč	46 300,9 Kč	13 999,3 Kč	-34 211,1 Kč	13 999,3 Kč
2037	39 488,5 Kč	7 186,9 Kč	54 047,7 Kč	14 559,3 Kč	-19 651,9 Kč	14 559,3 Kč
2038	46 675,3 Kč	7 186,9 Kč	61 817,0 Kč	15 141,6 Kč	-4 510,2 Kč	15 141,6 Kč
2039	53 862,2 Kč	7 186,9 Kč	69 609,5 Kč	15 747,3 Kč	-36 055,9 Kč	15 747,3 Kč
2040	61 049,1 Kč	7 186,9 Kč	77 426,2 Kč	16 377,2 Kč	-19 678,7 Kč	16 377,2 Kč
2041	68 235,9 Kč	7 186,9 Kč	85 268,2 Kč	17 032,3 Kč	-2 646,5 Kč	17 032,3 Kč
2042	75 422,8 Kč	7 186,9 Kč	93 136,3 Kč	17 713,6 Kč	15 067,1 Kč	17 713,6 Kč
2043	82 609,6 Kč	7 186,9 Kč	101 031,7 Kč	18 422,1 Kč	33 489,2 Kč	18 422,1 Kč
2044	89 796,5 Kč	7 186,9 Kč	108 955,5 Kč	19 159,0 Kč	52 648,2 Kč	19 159,0 Kč

Tabulka 21 Tok financí RÚ / VN 2019-2044

rok	Střídač	FV panely 18 ks	Bateriové uložiče	Ostatní	Suma
2019	-47 293,00 Kč	-72 000,00 Kč	-90 582,00 Kč	-30 000,00 Kč	-239 875,00 Kč
2029	-47 293,00 Kč				-47 293,00 Kč
2034			-90 582,00 Kč		-90 582,00 Kč
2039	-47 293,00 Kč				-47 293,00 Kč
Suma					425 043,00 Kč

Tabulka 22 Seznam budoucích investic

9 Závěr

Výsledkem této práce je návrh malé fotovoltaické elektrárny, která pokrývá spotřebu objektu v letním období a celkově snižuje roční náklady za elektřinu. Jedná se o hybridní fotovoltaickou elektrárnu, tedy FVE s akumulací do baterií. Rozmístění FV panelů na objektu lze vidět na grafické vizualizaci. Orientace 2 stringů na RD je na jih, kde celková produkce FVE je nejvyšší vzhledem k optimální světové orientaci. Dále na východ a západ, kde je zisk o něco nižší, ale v celoroční produkci se jedná o ztrátu do 5 %. Tuto ztrátu vzhledem k celoroční produkci HFVE lze zanedbat. Důvodem tohoto rozmístění na 3 světové strany je nedostatečná plocha jižní strany střechy a také snaha o navýšení výkonu celé HFVE a docílení co nejvyšší roční produkce elektřiny.

Celkový výkon HFVE je 5,58 kWp s celkovou roční produkcí elektřiny je 4440,9 kWh, a tedy vyšší jak 4000 kWh/rok. Můžeme tedy čerpat nejvyšší možnou výši dotace Nová zelená úsporám, 150 000 Kč.

Návratnost investice, kdy neuvažujeme zvyšování se cen elektřiny a životnost jednotlivých komponent HFVE je 12,5 let od doby výstavby a ročně nám HFVE ušetří 7 186,86 Kč. Snižili jsme tak roční náklady za elektřinu o 21 % a celková finanční úspora za 25 let je 89 796,5 Kč.

Při uvažování ročního růstu elektřiny o 3 % bez uvažování výměny jednotlivých komponent se návratnost zkrátí o 3 roky. Návratnost investice bude tedy 11 let a celková úspora díky HFVE bude po 25 letech 108 955,5 Kč.

Varianta přibližující se reálným podmínkám při uvažování zvyšujících se cen elektřiny a snižování životnosti jednotlivých komponent se návratnost investice prodlouží na 21 let. Celková úspora díky FVE bude za 25 let 52 648 Kč.

Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma FVE bez akumulace [15].....	3
Obrázek 2 Schéma FVE s akumulací do vody [15].....	4
Obrázek 3 Schéma FVE s akumulací do baterií [15]	5
Obrázek 4 Rodinný dům, Luka p.Medníkem	6
Obrázek 5 Pohled na střechu	7
Obrázek 6 Pohled RD jižní strana	7
Obrázek 7 Pohled RD východní strana.....	8
Obrázek 8 Pohled RD západní strana	8
Obrázek 9 Vliv orientace FVE v závislosti na úhlu sklonu [13].....	9
Obrázek 10 Mapa doby trvání slunečního svitu na území ČR [7].....	17
Obrázek 11 Monokrystalický, polykrystalický a amorfní článěk.....	18
Obrázek 12 FV panel značky BENQ SOLAR SunVivo [16].....	19
Obrázek 13 Základní konstrukce FV panelu [13]	31
Obrázek 14 GoodWE GW3648-EM [18].....	33
Obrázek 15 Bateriové uložení Pylontech [19]	33
Obrázek 16 Model FVE.....	35
Obrázek 17 Východní strana, Model FVE	35
Obrázek 18 Jižní strana, Model FVE.....	36
Obrázek 19 Západní strana, Model FVE	36
Obrázek 20 Ráno [20].....	37
Obrázek 21 Poledne [20]	37
Obrázek 22 Večer [20]	37

Seznam grafů

Graf 1 Vývoj bilance a výroby elektřiny z FVE.....	1
Graf 2 Roční spotřeby energií [kWh]	10
Graf 3 Měsíční spotřeby elektřiny za rok 2017	11
Graf 4 Spotřeba energie v průběhu dne (červenec)	12
Graf 5 Čas spínání NT a VT	12
Graf 6 Měsíční úhrn slunečního svitu.....	14
Graf 7 Denní úhrn slunečního záření G_c v závislosti na sklonu FVE	15
Graf 8 Měsíční teploty 2017	16
Graf 9 Denní teploty červenec 2017	16
Graf 10 Rozdíl roční produkce elektřiny 1 ks panelu v závislosti na jejich orientaci	21
Graf 11 Rozdíl roční produkce 1 panelů (jih) v závislosti na jejich sklonu	21
Graf 12 Produkce FVE v závislosti na spotřebě RD	30
Graf 13 Voltampérová charakteristika krystalického panelu při různém osvitu [17]	32
Graf 14 Závislost VN na RÚ při ideálních podmínkách	42
Graf 15 Závislost VN na RÚ při uvažování růstu cen za elektřinu	43
Graf 16 Závislost VN na RÚ při uvažování růstu cen za elektřinu a živostnost komponentů	44

Seznam tabulek

Tabulka 1 Měsíční spotřeby energií 2017	11
Tabulka 2 Měsíční úhrn slunečního svitu [kWh/m ²].....	14
Tabulka 3 Denní úhrn slunečního svitu pod úhlem 35° [W/m ²]	15
Tabulka 4 Měsíční teploty 2017	16
Tabulka 5 Denní teploty červenec 2017	16
Tabulka 6 Doba trvání slunečního svitu [hod]	17
Tabulka 7 Účinnost různých materiálů FV článků	18
Tabulka 8 druh integrace FV modulu do budovy.....	18
Tabulka 9 Součinitel špičkového výkonu K _{pk}	18
Tabulka 10 Roční produkce 1 ks FV panelů orientovaných na jih, západ, východ	20
Tabulka 11 Srovnání výsledků dle PVGIS a ČSN EN 15316-4-6	23
Tabulka 12 Hodnoty elektrické energie dodané 1ks FV panelu (290-310 Wp).....	23
Tabulka 13 Srovnání výsledků dle PVGIS a ČSN EN 15316-4-6	24
Tabulka 14 Hodnoty elektrické energie dodané 1ks FV panelu (290-310 Wp).....	24
Tabulka 15 Výsledky produkce FV modulu pro bilanční metodu	28
Tabulka 16 Srovnání hodnot celoročního výnosů 1ks panelu.....	29
Tabulka 17 Produkce FVE 18 ks panelů	30
Tabulka 18 Shrnutí komponentů FVE.....	34
Tabulka 19 Výše podpory pro podoblast C.3.7	39
Tabulka 20 Ekonomické zhodnocení výstavby 5,58 kWp FVE.....	40
Tabulka 21 Tok financí RÚ / VN 2019-2044.....	45
Tabulka 22 Seznam budoucích investic	45

Seznam příloh


Příloha 1 PVGIS Daily irradiance data.....	52
Příloha 2 Produktový list SunVivo 1/2.....	53
Příloha 3 Produktový list SunVivo 2/2.....	54

Seznam zdrojů

- [1] Fotovoltaika. *Tzbinfo* [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika>
- [2] [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: <https://www.svp-solar.cz/sitova-fotovoltaika/>
- [3] *Instalace FVE* [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: <https://www.premereni.cz/cs/sluzby/fotovoltaicke-elektrarny/instalace-fotovoltaickych-elektraren/>
- [4] *Síťové elektrárny On-Grid* [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: <http://www.sticka.cz/kategorie/sitove-elektrarny-on-grid/>
- [5] *Jak funguje fotovoltaický ohřev vody* [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-fotovoltaicky-ohrev-vody/>
- [6] CZECH RE AGENCY, O.P.S. [online]. 20.4.2009 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5571-fotovoltaicky-stridac-ucinnost-neni-vse>
- [7] SMOLKA, Václav. [online]. 12.09.2016 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: <https://www.in-pocasi.cz/clanky/teorie/slunecni-svit>
- [8] *Fotovoltaické systémy s východo-západní orientací a pouze jedním střídačem* [online]. [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/9667-fotovoltaicke-systemy-s-vychodo-zapadni-orientaci-a-pouze-jednim-stridacem>
- [9] Hybridní střídačeCT Power: RCT Power. *SolarniStavebnice.cz* [online]. 2016 [cit. 2018-12-26]. Dostupné z: <http://www.solarnistavebnice.cz/zbozi.jsp?f=d&n=RCT-Power-Storage-DC-6.0&gid=278&caid=33&scid=24>
- [10] Solární elektrárny. *SolarniStavebnice.cz* [online]. 2016 [cit. 2018-12-26]. Dostupné z: <http://www.solarnistavebnice.cz/zbozi.jsp?f=d&n=Domaci-elektrarna-s-vykonem-2,16kW&gid=252&caid=10&scid=-1>
- [11] GoodWE GW3648-EM. *SVP Solar* [online]. [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/goodwe-gw3648-em/>
- [12] *5. METODA DOBY NÁVRATNOSTI INVESTICE* [online], 1 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/loziska/cvekonomika/5_teorie.html
- [13] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [14] MATUŠKA, PH.D., doc. Ing. Tomáš. *Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací: Vytápění větrání instalace 5/2015* [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednoduseny-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci>
- [15] Instalace fotovoltaických elektráren. In: *PREměření* [online]. [cit. 2019-06-03]. Dostupné z: <https://www.premereni.cz/cs/sluzby/fotovoltaicke-elektrarny/instalace-fotovoltaickych-elektraren/>
- [16] BenQ SunVivo. In: <https://www.renugen.co.uk> [online]. [cit. 2019-06-03]. Dostupné z: <https://www.renugen.co.uk/auo-benq-sunvivo-pm060mw2-300wp-mono-black-frame/>

- [17] Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Wie schnell muss ein MPP-Tracker wirklich sein? (Jak rychlý musí být MPP tracker?), 24. symposium fotovoltaické solární energie, Německo, 2009
- [18] GoodWe 3648-EM. In: *Solid Power* [online]. [cit. 2019-06-03]. Dostupné z: <https://www.solidpower.cz/goodwe-3648-em-p278/>
- [19] Baterie PYLONTECH US2000B 48V 50Ah. In: *SVP Solar* [online]. [cit. 2019-06-03]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/baterie-pylontech-us2000b-48v-50ah/>
- [20] Fotovoltaická elektrárna pro rodinný dům S-Power MAXI. In: *SPOWER* [online]. [cit. 2019-06-03]. Dostupné z: <https://www.s-power.cz/fotovoltaicka-elektrarna-s-power-maxi/>

Přílohy



European Commission

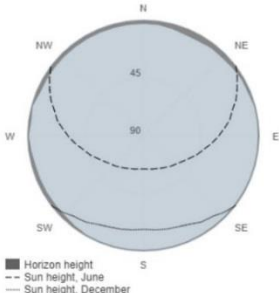
Daily irradiance data

PVGIS-5 geo-temporal irradiation database

Provided inputs

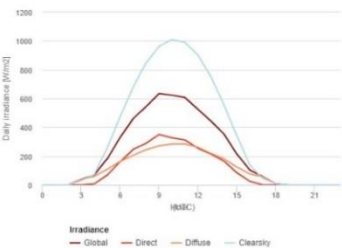
Latitude/Longitude: 49.868, 14.467
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-CMSAF
 Month: July

Outline of horizon at chosen location:



Legend:
 ■ Horizon height
 - - Sun height, June
 — Sun height, December

Daily average irradiance on fixed plane with slope 35° and azimuth 0°

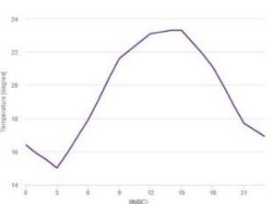


Irradiance on a fixed plane

Time	00:45	01:45	02:45	03:45	04:45	05:45	06:45	07:45	08:45	09:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	23:45
G	0	0	0	39	69	182	330	460	544	634	623	607	526	444	355	216	105	58	9	0	0	0	0	0
Gb	0	0	0	0	7	69	161	247	289	351	327	312	255	216	166	86	26	0	0	0	0	0	0	0
Gd	0	0	0	38	60	109	163	206	245	272	285	285	262	220	182	125	77	57	9	0	0	0	0	0
Gc	0	0	0	30	73	257	473	679	848	962	1010	990	902	753	559	343	140	44	10	0	0	0	0	0

G: Global irradiance on a fixed plane [W/m2].
 Gb: Direct irradiance on a fixed plane [W/m2].
 Gd: Diffuse irradiance on a fixed plane [W/m2].
 Gc: Global Clear-sky irradiance on a fixed plane [W/m2].

Daily average temperature

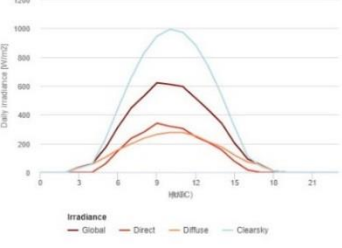


Average daily temperature profile

Time	00:45	01:45	02:45	03:45	04:45	05:45	06:45	07:45	08:45	09:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	23:45
Td	16.4	15.9	15.5	15	15.9	16.9	17.9	19.1	20.4	21.6	22.1	22.6	23.1	23.2	23.3	22.6	21.9	21.1	20	18.8	17.7	17.3	16.9	

T: Average daily temperature profile [°C].

Daily average irradiance on fixed plane with slope 43° and azimuth 0°



Irradiance on a fixed plane

Time	00:45	01:45	02:45	03:45	04:45	05:45	06:45	07:45	08:45	09:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	23:45
G	0	0	0	37	59	167	314	445	530	621	611	595	514	431	340	202	93	54	9	0	0	0	0	0
Gb	0	0	0	0	0	58	149	235	279	341	319	304	247	207	155	76	17	0	0	0	0	0	0	0
Gd	0	0	0	36	56	103	156	198	237	264	276	276	253	212	175	119	72	53	8	0	0	0	0	0
Gc	0	0	0	28	58	227	445	654	827	944	993	972	882	730	533	314	112	41	9	0	0	0	0	0

G: Global irradiance on a fixed plane [W/m2].
 Gb: Direct irradiance on a fixed plane [W/m2].
 Gd: Diffuse irradiance on a fixed plane [W/m2].
 Gc: Global Clear-sky irradiance on a fixed plane [W/m2].

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them.
 However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site. This information is: i) of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity; ii) not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date; iii) sometimes linked to external sites over which the Commission services have no control and for which the Commission assumes no responsibility; iv) not professional or legal advice; if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional.
 Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

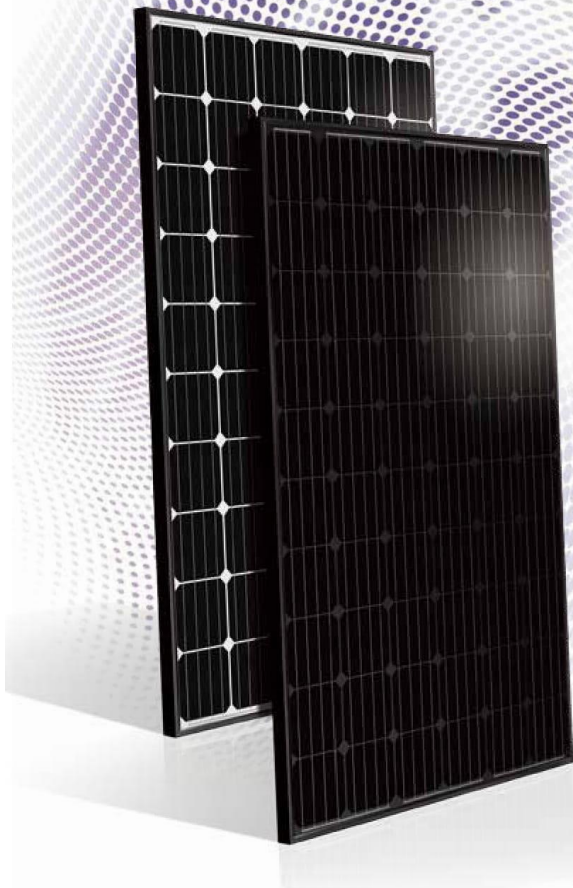
PVGIS ©European Union, 2001-2017.
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.
 Report generated on 2018/12/05

Joint Research Centre

SunVivo

PM060MW2/PM060MB2

Mono-Crystalline
Photovoltaic Module



290W
310W

Power Range
290 ~ 310Wp



Highly Strengthened Design
Module complies with advanced loading tests to meet 5400 Pa loading requirements



PID-Resistance (up to Diamond Level)
Certified high PID resistance



Superior Weak Light Performance
Improved absorption of long wavelength light



Flammability Test
Low ignitability ensuring fire safety



Resistance to Salt Corrosion and Humidity
Module complies with IEC 61701: Salt Mist Corrosion Testing



Ammonia Test
Reliable in ammonia rich environment



BenQ
Solar

Příloha 2 Produktový list SunVivo 1/2

SunVivo PM060MW2/PM060MB2 (290 ~ 310 Wp)

Electrical Data

Typ. Nominal Power P_N	290W	295W	300W	305W	310W
Typ. Module Efficiency	17.8%	18.1%	18.4%	18.7%	19.1%
Typ. Nominal Voltage V_{mp} (V)	32.3	32.6	32.7	32.9	33.1
Typ. Nominal Current I_{mp} (A)	8.99	9.05	9.18	9.28	9.38
Typ. Open Circuit Voltage V_{oc} (V)	39.7	39.8	39.9	40.2	40.5
Typ. Short Circuit Current I_{sc} (A)	9.57	9.63	9.80	9.91	10.02
Maximum Tolerance of P_N	0 / +3%				

* Above data are the effective measurement at Standard Test Conditions (STC)
 * STC: irradiance 1000 W/m², spectral distribution AM 1.5, temperature 25 ± 2 °C, in accordance with EN 60904-3
 * Black back sheet (PM060MB2) is utilized for 290 & 300W; white back sheet (PM060MW2) is for 295-310W

Temperature Coefficient

NOCT	46 ± 2 °C
Typ. Temperature Coefficient of P_N	-0.42 % / K
Typ. Temperature Coefficient of V_{oc}	-0.30 % / K
Temperature Coefficient of I_{sc}	0.05 % / K

* NOCT: Normal Operation Cell Temperature, measuring conditions: irradiance 800 W/m², AM 1.5, air temperature 20 °C, wind speed 1 m/s

Mechanical Characteristics

Dimensions (L x W x H)	1640 x 992 x 40 mm (64.57 x 39.05 x 1.57 in)
Weight	19 kg (41.89 lbs)
Front Glass	High transparent solar glass (tempered), 3.2 mm (0.13 in)
Cell	60 monocrystalline solar cells
Back Sheet	Composite film
Frame	Anodized aluminum frame
Junction Box	IP-67 rated with 3 bypass diodes
Connector Type & Cables	TE Connectivity PV4: 1 x 4 mm ² (0.04 x 0.16 in ²), Length: each 1.0 m (39.37 in)

Operating Conditions

Operating Temperature	-40 ~ +85 °C
Ambient Temperature Range	-40 ~ +45 °C
Max. System Voltage IEC/UL	1000V / 1000V
Serial Fuse Rating	15 A
Maximum Surface Load Capacity	Tested up to 5400 Pa according to IEC 61215 (advanced test)

Warranties and Certifications

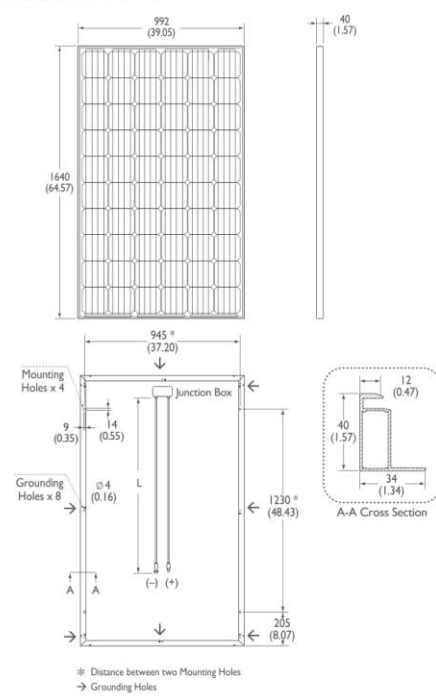
Product Warranty	Maximum 12 years for material and workmanship
Performance Guarantee	Guaranteed linear degradation to 80% for 25 years *1
Certifications	According to IEC/EN 61215, IEC/EN 61730 and UL 1703 guidelines *2

*1: Please refer to warranty letter for detail
 *2: Please confirm other certifications with official dealers

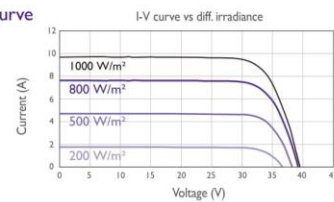
Packing Configuration

Container	20' GP	40' GP	40' HQ
Pieces per Pallet	26	26	26
Pallets per Container	6	14	28
Pieces per Container	156	364	728

Dimensions mm (inch)



I-V Curve



Current/voltage characteristics with dependence on irradiance and module temperature.

Dealer Stamp



AU Optronics Corporation
 No. 1, Li-Hsin Rd. 2, Hsinchu Science Park, Hsinchu 30078, Taiwan
 Tel: +886-3-500-8899 www.BenQSolar.com



BenQ Solar is a division of AU Optronics. This datasheet is printed with Soy Ink.
 © Copyright September 2015 AU Optronics Corp. All rights reserved. Information may change without notice.



BenQ
 Solar