

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

---

Fakulta elektrotechnická  
Katedra elektroenergetiky

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
Návrh fotovoltaické elektrárny v ostrovním režimu

Autor práce: **Bc. Michal Staněk**  
Vedoucí práce: **Ing. Milan Bělík, Ph.D.**

---

2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal STANĚK**  
Osobní číslo: **E21N0016P**  
Studijní program: **N0713A060013 Výkonové systémy a elektroenergetika**  
Specializace: **Elektroenergetika**  
Téma práce: **Návrh fotovoltaické elektrárny v ostrovním režimu**  
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky**

## Zásady pro vypracování

1. Vyhodnoťte energetické nároky a dosažitelné energetické zisky pomocí FV systému pro zvolený modelový objekt.
2. Proveďte simulaci a optimalizaci řešení pomocí profesionálního návrhového systému.
3. Zhodnoťte ekonomiku navrženého řešení – uvažujte situaci s dotací a bez dotace podle aktuálních dotačních programů.
4. Navržený systém doplňte záložním zdrojem energie pro dosažení větší spolehlivosti dodávky energie.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60**  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování diplomové práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Poulek M., Libra V.: Solární energie.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Milan Bělík, Ph.D.**  
Katedra elektroenergetiky

Datum zadání diplomové práce: **7. října 2022**  
Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2023**

  
**Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.**  
děkan

  
**Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Plzni dne 7. října 2022

## **Abstrakt**

Cílem předkládané diplomové práce je navrhnout fotovoltaickou elektrárnu pracující v ostrovním režimu na konkrétní rodinný dům a vyhodnotit pomocí simulačního softwaru funkčnost a efektivitu energetického systému. Teoretická část práce se zaměřuje na rozbor a popis základních druhů zapojení fotovoltaických systémů (on-grid, hybrid, off-grid). Dále je v teoretické části popsán princip návrhu ostrovního fotovoltaického systému, který zahrnuje zejména analýzu energetických zisků, analýzu odběru elektrické energie daného objektu a zásady dimenzování jednotlivých komponent. Praktická část se věnuje samotnému návrhu fotovoltaické elektrárny na modelový objekt, která zahrnuje analýzu energetických zisků, odběr elektrické energie daného objektu, dimenzování fotovoltaické výroby, dimenzování bateriového úložiště, volbu konkrétní technologie, schéma zapojení elektrárny a simulaci výroby elektrické energie FV systémem pomocí profesionálního simulačního software včetně zhodnocení výsledků. V neposlední řadě je v praktické části uvedeno ekonomické zhodnocení navrženého řešení pomocí ekonomického kritéria čisté současné hodnoty NPV.

## **Klíčová slova**

Fotovoltaické elektrárna, ostrovní systém, hybridní systém, solární energie, energetická soběstačnost, obnovitelné zdroje energie, střídač, bateriové úložiště, záložní generátor, úspora energie, solární regulátor, MPPT, PWM, ATS

## **Abstract**

The aim of the present diploma thesis is to design an off-grid photovoltaic power system for a specific family house and evaluate its functionality as well as efficiency using a simulation software tool. The theoretical part of the thesis describes and analyses the basic types of photovoltaic systems connection (on-grid, hybrid, off-grid connection) and also presents the general aspects of off-grid photovoltaic system design, focusing on the energy gains analysis, electrical energy consumption analysis of a specific building and principles of individual components dimensioning. The practical part of thesis presents a concrete photovoltaic system designed for a specific model building, the photovoltaic system as well as its battery storage dimensioning, the choice of a specific technology, the photovoltaic system connection diagram and photovoltaic energy production simulation using a professional simulation software tool. Besides evaluating the results of the designed photovoltaic solution, the practical part also includes its economic evaluation based on the NPV.

## **Key Words**

Photovoltaic Power Plant, off grid system, hybrid system, solar energy, energy self-sufficiency, renewable energy sources, inverter, battery storage, backup generator, energy saving, solar charge controller, MPPT, PWM, ATS

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Milanu Bělíkovi, Ph.D., za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

# Obsah

Úvod.....	- 11 -
1 Teoretický rozbor .....	- 12 -
1.1 Základní druhy zapojení fotovoltaických systémů.....	- 12 -
1.1.1 Systémy připojené přímo k síti bez akumulace .....	- 12 -
1.1.2 Hybridní systémy .....	- 13 -
1.1.3 Ostrovní systémy .....	- 15 -
1.2 Princip návrhu ostrovního fotovoltaického systému.....	- 16 -
1.2.1 Zásadní komponenty systému.....	- 16 -
1.2.2 Analýza odběru elektrické energie .....	- 20 -
1.2.3 Analýza možných energetických zisků.....	- 21 -
1.2.4 Orientace a sklon fotovoltaických panelů.....	- 23 -
1.2.5 Dimenzování fotovoltaické výroby .....	- 25 -
1.2.6 Dimenzování bateriového úložiště.....	- 25 -
1.2.7 Dimenzování solárního regulátoru (SCC) .....	- 26 -
1.2.8 Dimenzování střídače .....	- 26 -
1.2.9 Zhodnocení výroby elektrické energie.....	- 27 -
1.2.10 Ekonomické zhodnocení řešení.....	- 27 -
2 Návrh ostrovní FVE na modelový objekt RD .....	- 29 -
2.1 Lokalita RD .....	- 30 -
2.1.1 Analýza situace .....	- 30 -
2.1.2 Analýza solárních energetických zisků.....	- 31 -
2.2 Střecha RD – orientace a sklon FV panelů, instalační plocha .....	- 33 -
2.3 Spotřeba elektrické energie RD.....	- 34 -
2.4 Dimenzování fotovoltaické výroby .....	- 35 -
2.5 Dimenzování bateriového úložiště .....	- 37 -
2.6 Volba technologie .....	- 39 -
2.6.1 Fotovoltaické moduly .....	- 39 -
2.6.2 Střídač .....	- 39 -
2.6.3 Bateriové úložiště .....	- 40 -
2.6.4 Elektrocentrála .....	- 40 -

2.7	Schéma zapojení.....	- 41 -
2.7.1	Slovní popis .....	- 41 -
3	Simulace výroby elektrické energie z FVE .....	- 43 -
3.1	Vizualizace situace .....	- 43 -
3.2	Analýza zastínění .....	- 44 -
3.2.1	Jižně orientované moduly .....	- 44 -
3.2.2	Západně orientované moduly.....	- 45 -
3.2.3	Východně orientované moduly .....	- 46 -
3.3	Výsledky simulace .....	- 47 -
3.3.1	FV systém .....	- 47 -
3.3.2	Spotřeba .....	- 48 -
3.3.3	Bateriový systém.....	- 49 -
3.3.4	Záložní generátor .....	- 49 -
3.3.5	Prognóza výnosů se spotřebou.....	- 50 -
4	Ekonomické zhodnocení navrženého řešení.....	- 52 -
4.1	Stanovení doby životnosti FVE .....	- 52 -
4.1.1	FV panely.....	- 52 -
4.1.2	Bateriové úložiště .....	- 52 -
4.1.3	Střídač .....	- 52 -
4.1.4	Životnost celého systému.....	- 52 -
4.2	Investiční náklady .....	- 52 -
4.3	Provozní náklady.....	- 53 -
4.3.1	Spotřeba paliva elektrocentrály.....	- 53 -
4.4	Dlouhodobý vývoj ceny elektrické energie a LPG .....	- 53 -
4.5	Roční úspora.....	- 54 -
4.6	Výpočet čisté současné hodnoty (NPV).....	- 54 -
4.6.1	Ostrovní systém – úspora za elektřinu .....	- 55 -
4.6.2	Hybridní systém – úspora za elektřinu a prodej přebytků do DS .....	- 56 -
4.7	Dotace Nová Zelená Úsporám (NZÚ) .....	- 57 -
	Zhodnocení a závěr .....	- 58 -



Literatura.....	- 59 -
Seznam obrázků.....	- 61 -
Seznam příloh .....	I

## Seznam symbolů a zkratk

<b>Značka</b>	<b>Popisek</b>	<b>Jednotka</b>
$A_{PV}$	Potřebná plocha fotovoltaického pole	[m <sup>2</sup> ]
$H_{avg}$	Průměrné dostupné denní solární záření	[kWh/m <sup>2</sup> /den]
$L_{el}$	Denní energetický nárok objektu	[kWh/den]
$P_{P(PV)}$	Špičkový výkon fotovoltaické výroby	[W]
$I_P$	Špičkové solární ozáření	[W/m <sup>2</sup> ]
$B_{SC}$	Kapacita bateriového úložiště	[kWh]
$P_i$	Instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny	[kWp]

## Úvod

Diplomová práce se zabývá návrhem fotovoltaické elektrárny pracující v ostrovním režimu na konkrétní reálný rodinný dům. Cílem diplomové práce je navrhnout daný ostrovní fotovoltaický systém tak, aby dokázal pokrývat spotřebu rodinného domu v reálném čase, a to po celý rok. Kromě samotného návrhu fotovoltaického systému tato diplomová práce analyzuje i ekonomickou stránku daného řešení a posuzuje, zda se z ekonomického hlediska instalace ostrovního fotovoltaického systému vyplatí, či nikoli.

Návrh fotovoltaického ostrovního systému zahrnuje zejména analýzu odběru elektrické energie objektu, analýzu možných energetických zisků z fotovoltaické výroby, dimenzování fotovoltaické výroby podle reálných podmínek, dimenzování bateriového úložiště, dimenzování střídače a solárních regulátorů, návrh záložního zdroje energie, návrh schématu zapojení a elektrických ochranných opatření.

Pro zjištění správné funkce navrženého řešení se provádí simulace pomocí profesionálního software, ze které vzejdou důležité výsledky, jako je míra zastínění fotovoltaických modulů od okolních objektů, využitelná fotovoltaická energie daného systému, rozložení pokrývání spotřeby mezi jednotlivými zdroji – fotovoltaické moduly, bateriové úložiště a záložní zdroj elektrické energie (elektrocentrála). Dále pak poměr mezi fotovoltaickou energií a energií ze záložního zdroje, která slouží pro nabíjení bateriového úložiště. V neposlední řadě poměr mezi energií ze záložního zdroje pokrývající okamžitou spotřebu a energií pro nabíjení bateriového úložiště. Energie pocházející ze záložního zdroje odpovídá spotřebě paliva, tím pádem má vliv i na provozní náklady. Z výsledků simulace je možné případně optimalizovat navržené řešení, a to zejména kapacitu bateriového úložiště ze známého poměru maximální možné fotovoltaické energie a využitelné fotovoltaické energie.

Ekonomické zhodnocení navrženého řešení zahrnuje provozní a investiční náklady, ekonomické kritérium čisté současné hodnoty (NPV), cenu elektrické energie, atd.

## 1 Teoretický rozbor

### 1.1 Základní druhy zapojení fotovoltaických systémů

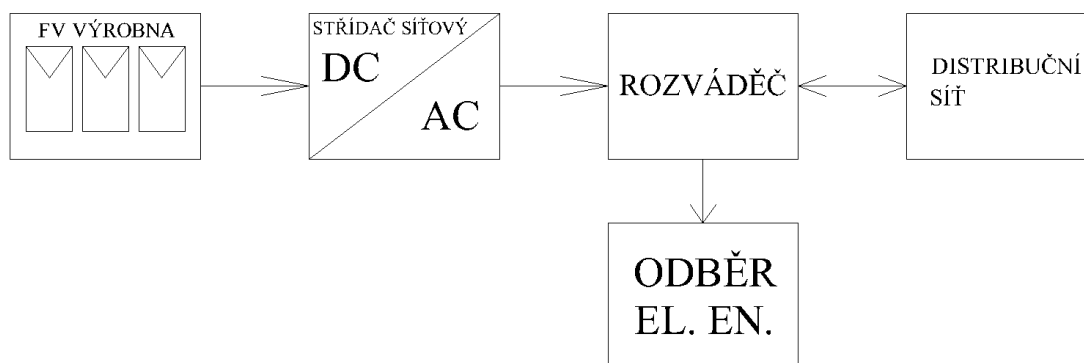
#### 1.1.1 Systémy připojené přímo k síti bez akumulace

Fotovoltaické systémy připojené přímo k síti, známé také jako on-grid/grid-connected/grid-tied systémy, fungují tak, že spotřebují okamžitý elektrický výkon, který je vyroben fotovoltaickými panely, a případné přebytky elektrické energie se posílají do distribuční sítě. Pokud solární panely neprodukují dostatek energie pro okamžitou spotřebu, distribuční síť dodává dodatečnou energii, aby se pokryla potřebná spotřeba. V těchto systémech nejsou baterie a regulátory nabíjení součástí systému.

Pro správné fungování on-grid systému je však nutné systém vybavit střídačem, který převede stejnosměrné veličiny (napětí, proud) na střídavé veličiny. Střídač musí zajišťovat, aby střídavé veličiny na výstupu odpovídaly požadovaným parametrům distribuční sítě, jako je stejná frekvence napětí (na úrovni zátěžného úhlu), pokud možno sinusový průběh napětí a stejná efektivní hodnota napětí. Je také důležité, aby harmonické zkreslení proudu ( $THD_I$ ) a napětí ( $THD_U$ ) nepřekračovaly stanovené limity, které jsou určeny provozovatelem distribuční soustavy. Tímto způsobem je zapotřebí vybavit systém tzv. síťovým střídačem, který splňuje tyto kvalitativní požadavky. [1]

On-grid systémy nemají schopnost poskytovat nouzovou zálohu v případě odpojení od distribuční soustavy, protože neobsahují bateriový záložní zdroj. Tím pádem vyrobená energie musí být okamžitě spotřebována nebo poslána do distribuční sítě, a pokud není prodávána, tak se v podstatě daným odběratelem nevyužije. [1]

Mezi výhody on-grid systémů patří jejich jednoduchost a relativně nízká cena ve srovnání s hybridními systémy. To je způsobeno především tím, že on-grid systém nezahrnuje akumulaci elektrické energie do baterií, které obvykle představují nejdražší komponentu hybridních nebo ostrovních systémů.



Obr. 1: Zjednodušené blokové schéma FV systému připojeného přímo k distribuční síti. [autor]

### 1.1.2 Hybridní systémy

Hybridní systém využívá kombinaci fotovoltaické výroby a dalšího zdroje energie, často ve formě bateriového úložiště. Celý systém je propojen pomocí hybridního střídače s distribuční sítí. Fotovoltaické panely generují elektrickou energii, která je dále směřována do hybridního střídače. Tento střídač poté distribuuje energii buď přímo ke spotřebičům v objektu, nebo ji akumuluje v bateriovém úložišti, nebo dokonce dodává do distribuční sítě. [2]

Hybridní střídač je inteligentní zařízení s výkonovými funkcemi. Je připojen k fotovoltaickým panelům, bateriím a rozvodu domácnosti. Klíčovou součástí střídače je chytrý elektroměr (Smart Meter), který sleduje spotřebu elektrické energie v rozvodech a poskytuje informace o stavu sítě střídači. Střídač je obvykle nastaven tak, aby spotřeba v objektu byla pokryta dostupnými zdroji energie, tedy zejména z fotovoltaických panelů a baterií. V případě, kdy je přebytek energie z panelů a baterie jsou plně nabitě, je tato energie dodávána do distribuční sítě. Pokud je nedostatek energie z panelů a baterie nejsou plně nabitě, střídač umožňuje dobíjení baterií z distribuční sítě pomocí usměrňovačové části. [3]

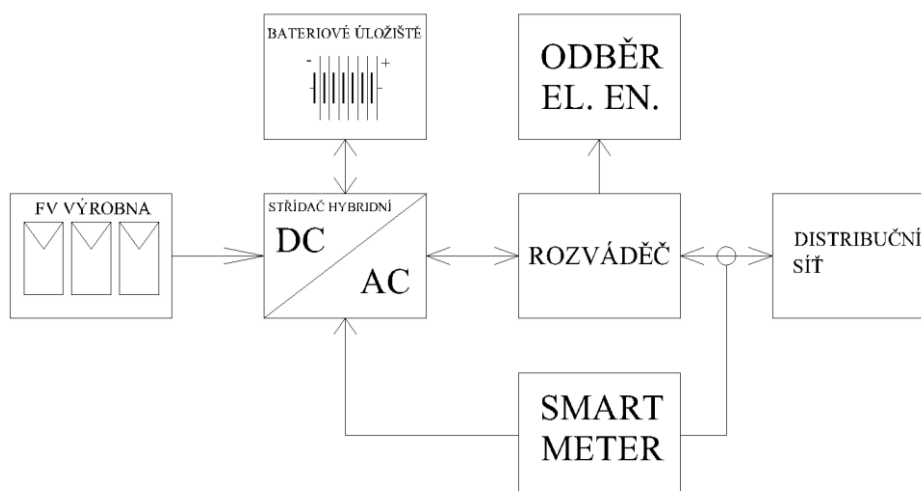
Střídač musí splňovat stanovené střídavé parametry na AC straně, které jsou podobné jako u síťového střídače. K nim patří správná frekvence napětí, požadovaný tvar průběhu napětí (ideálně sinusový) a správná efektivní hodnota napětí. Součástí hybridního střídače je také regulátor nabíjení, který slouží k řízení napětí a proudu proudícího do baterie ze solárních panelů.

Hybridní systémy poskytují flexibilitu a možnost optimalizace využití vyrobené elektrické energie. Díky kombinaci fotovoltaického generování a bateriového úložiště mohou tyto systémy lépe řídit spotřebu a zajišťovat energetickou nezávislost. Jsou vhodné pro oblasti s fluktuací dodávky energie nebo pro ty spotřebitele, kteří chtějí minimalizovat svou závislost na distribuční síti. Hybridní systémy umožňují ukládání nadbytečné energie do baterií pro pozdější použití, což zvyšuje efektivitu využití fotovoltaického systému a umožňuje pokrýt energetické špičky nebo provoz i v době nízkého slunečního záření.

V porovnání s on-grid a off-grid systémy mají hybridní systémy výhodu větší flexibility a autonomie. Mohou kombinovat výhody obou přístupů a přizpůsobovat se aktuálním podmínkám a energetickým potřebám. Navíc, díky bateriovému úložišti, mohou hybridní systémy poskytovat nouzovou zálohu v případě výpadku distribuční sítě, což je významné zejména pro kritické spotřebiče a provozy, které vyžadují nepřetržitý chod.

Je třeba poznamenat, že hybridní systémy mohou být nákladnější než jednoduché on-grid systémy kvůli přítomnosti baterií a dalších zařízení.

Celkově lze konstatovat, že hybridní systémy představují střední cestu mezi on-grid a off-grid řešeními, kombinující výhody obou přístupů. Jsou vhodné pro ty spotřebitele, kteří chtějí využívat obnovitelné zdroje energie, optimalizovat spotřebu a zároveň mít možnost zálohy v případě výpadku sítě.



Obr. 2: Zjednodušené blokové schéma hybridního systému. [autor]

### 1.1.3 Ostrovní systémy

Nejjednodušší ostrovní fotovoltaický systém se skládá z připojení fotovoltaických panelů do stejnosměrného rozvodu elektrické energie, např. pro odporový ohřev TUV. Avšak většina domácích spotřebičů vyžaduje ke svému provozu střídavé napětí, a proto je i v případě ostrovního systému potřeba použít střídač.

Na první pohled se může zdát, že ostrovní fotovoltaický systém nenabízí nic zvláštního. To však neplatí v případech, kdy je nutné systém navrhnout tak, aby dokázal pokrýt okamžitou spotřebu energie po celý rok, včetně období s nejmenším slunečním zářením (například prosinec a leden). Jinými slovy, systém musí být schopen plnohodnotně fungovat po celý rok, i když není připojený k distribuční síti. Pro tyto účely je nezbytné vybavit systém bateriemi, které umožní noční provoz, pokrytí špiček odběru nebo zajištění tzv. doby autonomie.

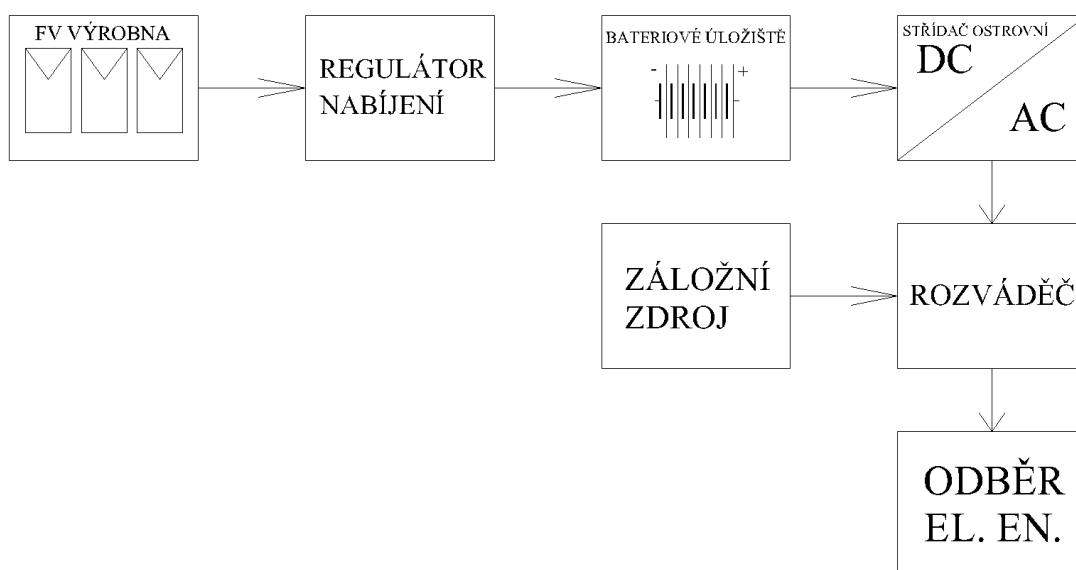
Baterie představuje základní součást celého systému. Během dne se dobíjí a funguje jako stabilní rezervoár elektrické energie. Baterie je dobíjena určitým proudem v určitém čase a vybíjí se do zátěže proudem odpovídajícím požadavkům spotřebičů. Baterie je připojena k fotovoltaickým panelům pomocí solárního regulátoru nabíjení (solar charge controller/charge regulators/SCC), který může být integrován už ve střídači. Solární regulátor má za úkol řídit napětí a proud tekoucí z fotovoltaických panelů do baterie. Jeho hlavní funkcí je zabránit nadměrnému dobíjení baterie po jejím plném nabití a tím prodloužit její životnost.

Při návrhu a provozu ostrovního fotovoltaického systému je důležité pečlivě zvážit energetické potřeby a prioritizovat spotřebiče. Je vhodné používat energeticky úsporné spotřebiče a případně využívat časové spínače nebo regulaci zátěže, aby se minimalizovalo riziko vybití baterií nebo přetížení systému. Správná správa a údržba baterií jsou také klíčové pro zajištění jejich optimálního výkonu a životnosti.

Ostrovní fotovoltaické systémy jsou obzvláště užitečné v odlehlých oblastech, kde není dostupné připojení k distribuční síti. Mohou sloužit jako samostatné zdroje elektrické

energie pro venkovské domy, chaty, telekomunikační věže, pumpy vodních systémů a další aplikace.

Je však třeba mít na paměti, že ostrovní systémy mají své omezení v termínech energetické samostatnosti a kapacity baterií. Při návrhu a provozu je nezbytné pečlivě analyzovat energetické požadavky, sluneční záření v dané oblasti a provádět potřebné úpravy a optimalizace. Pro zajištění energetické spolehlivosti a stability lze ostrovní systémy případně kombinovat s dalšími zdroji energie, jako je malý větrný generátor nebo dieselový generátor.



Obr. 3: Zjednodušené blokové schéma ostrovního FV systému. [autor]

## 1.2 Princip návrhu ostrovního fotovoltaického systému

### 1.2.1 Zásadní komponenty systému

#### Fotovoltaické panely

Fotovoltaické panely transformují dopadající sluneční energii (záření) na energii elektrickou o stejnosměrných parametrech. Lze je považovat za generátor elektrické energie.



### Bateriové úložiště

Baterie se chová jako stálý rezervoár elektrické energie. Dobíjí se přes regulátor (SCC) energií generovanou fotovoltaickými panely a vybíjí se do zátěže přes střídač.

### Střídač

Střídač je zařízení, které přeměňuje stejnosměrné veličiny na vstupu, jako jsou například energie z fotovoltaických panelů nebo baterie, na střídavé veličiny na výstupu, které jsou vhodné pro napájení různých spotřebičů nebo zátěží. Přítomnost střídače není v ostrovním systému nezbytná, pokud je tento systém navrhován pro spotřebiče, které na svém vstupu střídavé napětí nevyžadují. Většina běžně používaných domácích spotřebičů však střídavé napětí na svém vstupu vyžaduje, aby mohly správně fungovat a být napájeny z elektrické zásuvky. Střídač tedy slouží ke konverzi energie a zajišťuje, že spotřebiče jsou pro svůj provoz napájeny odpovídajícím typem napětí.

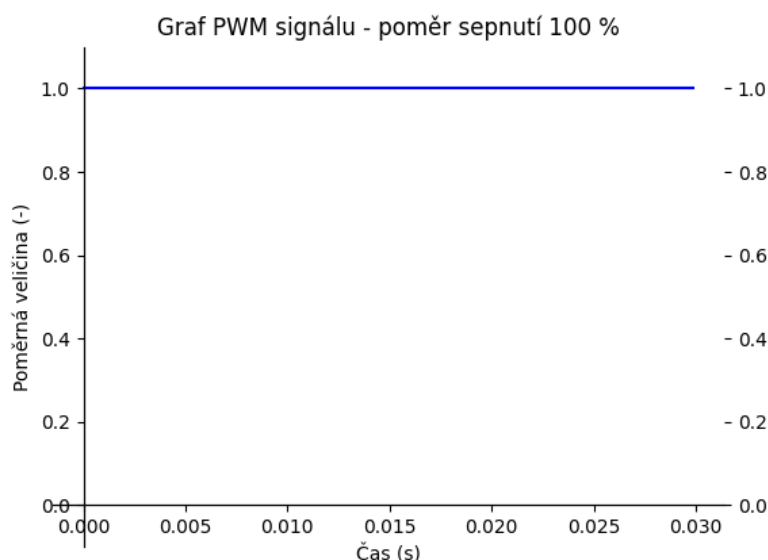
### Solární regulátor (Solar Charge Controller – SCC)

Solární regulátor SCC je zařízení, které převádí vstupní stejnosměrné veličiny (napětí, proud) na výstupní stejnosměrné veličiny (napětí, proud) jiných hodnot. Jedná se tedy o DC/DC konvertor. Vstupní veličiny jsou napětí a proud z fotovoltaické elektrárny. Výstup regulátoru je napojen na bateriové úložiště a výstupní napětí musí přibližně odpovídat napětí bateriového systému. SCC tedy transformuje parametry fotovoltaického pole, aby bylo možno dobíjet bateriové úložiště z fotovoltaických panelů, tj. sníží napětí a zvýší proud. Základní funkcí SCC je monitoring nabíjení a vybíjení baterie. SCC tedy zajišťuje, aby se baterie kompletně nevybila, případně nepřebila. Přebíjení baterie může vést k její destrukci a vybíjení snižuje její životnost. Na trhu jsou nejčastěji dostupné regulátory typu PWM a MPPT. Typ PWM neumožňuje na rozdíl od MPPT připojit na vstupní svorky jiné napětí než na výstupní svorky – je proto vhodný spíše pro velmi malé ostrovní systémy (např. 1 modul a baterie). Regulátor typu MPPT má navíc větší účinnost přeměny energie. Výhoda PWM oproti MPPT je jejich nižší cena. Solární regulátory jsou dnes už běžně součástí střídačů.

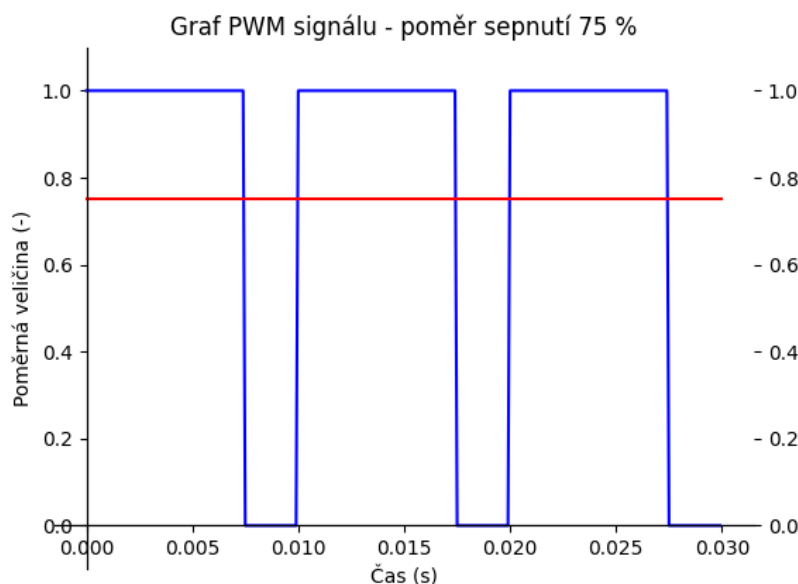
### PWM regulátor

Princip pulzní šířkové modulace (PWM) solárního regulátoru spočívá v tom, že se reguluje napětí a proud z FV panelu tak, aby bylo optimalizováno nabíjení baterie. K regulaci množství energie přiváděné k baterii regulátor používá vysokofrekvenční pulzy. Regulátor měří napětí a proud generované panelem a udržuje napětí baterie na konstantní úrovni. Pokud je napětí baterie nízké, PWM regulátor zajistí její urychlené nabití větším přívodem proudu. Jakmile je baterie nabita na určitou úroveň, regulátor přiváděný proud pro udržení konstantní úrovně napětí opět sníží. Pokud je napětí baterie vysoké, PWM regulátor konstantní úroveň napětí udržuje snižováním přiváděného proudu., Jakmile napětí klesne pod určitou úroveň, regulátor opět umožní rychlé nabíjení baterie větším proudem.

Pulzy, které PWM regulátor generuje, mají konstantní frekvenci, avšak jejich šířka se mění v závislosti na stavu nabíjení baterie (viz. průběhy na obr. 4, 5). Pokud je baterie plně nabitá, PWM regulátor šířku pulzů zmenšuje, aby množství energie přiváděné do baterie omezil. Pokud je baterie téměř vybitá, PWM regulátor množství energie přiváděné do baterie zvyšuje tím, že šířku pulzů zvětšuje.



Obr. 4: Výstup PWM regulátoru při plném otevření – reprezentuje výstup z FV panelu.



Obr. 5: Výstup PWM regulátoru při poměrném sepnutí 75 %. Střední hodnota vyznačená červeně.

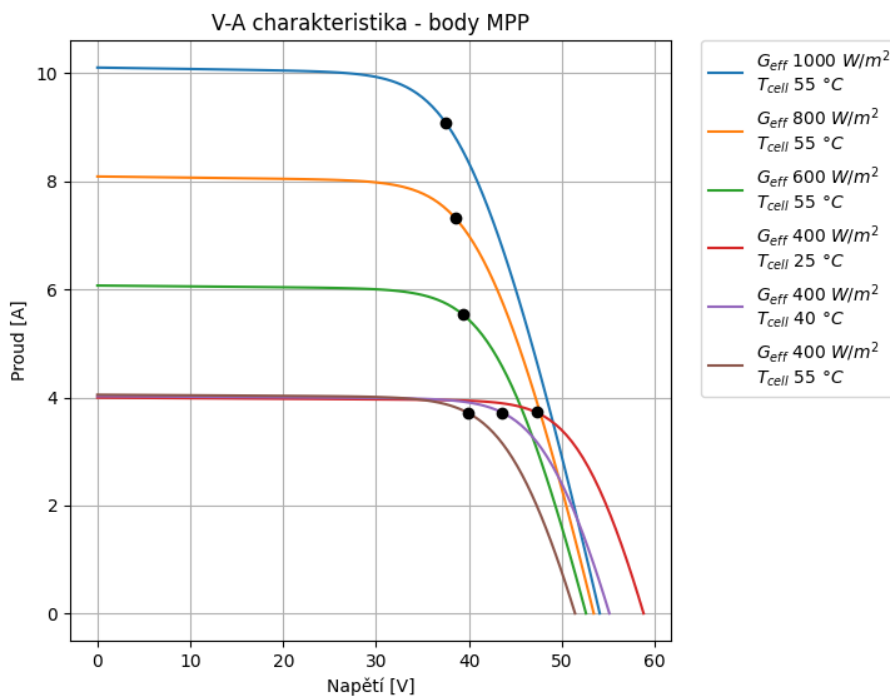
### MPPT regulátor

MPPT (Maximum Power Point Tracking) regulátor je zařízení, které se používá pro řízení výkonu FV panelu. Jeho hlavním úkolem je zajistit, aby FV panel pracoval na svém nejvyšším možném výkonu, což zvyšuje efektivitu a výkon celého solárního systému. [11][12]

Princip regulátoru MPPT spočívá v hledání tzv. bodu maximálního výkonu (MPP), což je bod na charakteristické křivce panelu (viz. obr. 6), kde se dosahuje nejvyššího výkonu. Tento bod se může měnit v závislosti na intenzitě slunečního záření a teplotě. [11][12]

MPPT regulátor porovnává napětí a proud výstupu FV panelu a vypočítává výkon. Pokud zjistí, že výkon není maximální, změní napětí na výstupu panelu, dokud nedosáhne bodu MPP (Maximum Power Point). Tento proces se opakuje neustále, aby se zajistilo, že solární panel pracuje neustále na svém nejvyšším možném výkonu. [11][12]

MPPT regulátory jsou velmi užitečné v systémech s vysokým výkonem, protože pomáhají maximalizovat výkon solárního panelu, což může vést k výraznému snížení nákladů na elektrickou energii. [11][12]



Obr. 6: Body maximálního bodu výkonu (MPP) při různém ozáření a teplotě.

### 1.2.2 Analýza odběru elektrické energie

Odběr elektrické energie se bude lišit v jednotlivých ročních obdobích. V zimním období je odběr obvykle vyšší kvůli tomu, že se elektrická energie více využívá k osvětlení a případně vytápění. Proto je důležité provést celoroční vyhodnocení odběru elektrické energie a získat informace zejména o odběru v zimním období, konkrétně v prosinci a lednu.

Pokud máme k dispozici pouze celkovou roční spotřebu elektrické energie, můžeme využít tzv. TDD diagram (typový diagram dodávky elektrické energie). TDD diagramy rozdělují celkovou roční spotřebu do různých fází roku na základě typických spotřebitelských vzorců v České republice, které jsou dlouhodobě sledovány. Například k distribuční sazbě D02d, která nezahrnuje elektrické vytápění ani ohřev vody, je přiřazen typový diagram dodávky třídy 4 (TDD4), jak je uvedeno v tabulce 1. Tento diagram nám umožňuje odhadnout průběh odběru elektrické energie v jednotlivých částech roku na základě celkové roční spotřeby. [4]

TDD diagramy jsou užitečným nástrojem pro analýzu spotřeby elektrické energie a pomáhají lépe porozumět odběrovým vzorcům v průběhu roku, což je důležité pro navrhování a plánování energetických systémů.

Tab. 1: Třídy typových diagramů dodávek elektrické energie. [5]

Třída	Typ zákazníka	Charakter odběru	Pevné ceny distribuce podle cenového rozhodnutí Úřadu
1	Odběratel kategorie C	odběr bez tepelného využití elektřiny	C01d, C02d, C03d
2	Odběratel kategorie C	odběr s akumulacním spotřebičem odběr s hybridním vytápěním	C25d, C26d, C35d
3	Odběratel kategorie C	odběr s přímotopným systémem vytápění odběr s tepelným čerpadlem	C45d, C55d, C56d
4	Odběratel kategorie D	odběr bez tepelného využití elektřiny	D01d, D02d, D61d
5	Odběratel kategorie D	odběr s akumulacním spotřebičem	D25d, D26d
6	Odběratel kategorie D	odběr s hybridním vytápěním	D35d
7	Odběratel kategorie D	odběr s přímotopným systémem vytápění odběr s tepelným čerpadlem	D45d, D55d, D56d
8	Odběratel kategorie C	odběr pro veřejné osvětlení	C26d

Pokud informace o spotřebě daného objektu k dispozici nemáme, musíme odhadnout spotřebu elektrické energie na základě instalovaných příkonů elektrických spotřebičů a doby, po kterou jsou v provozu. Vypočítáme celkovou spotřebu elektrické energie daného spotřebiče za určitý časový úsek násobením jeho instalovaného příkonu dobou provozu. Celková spotřeba elektrické energie je pak získána součtem spotřeby všech spotřebičů.

Tímto způsobem lze odhadnout spotřebu elektrické energie, pokud konkrétní informace o přesných hodnotách spotřeby daného objektu nemáme. Při výpočtu celkové spotřeby energie je důležité brát v úvahu všechny elektrické spotřebiče a jejich provozní dobu.

### 1.2.3 Analýza možných energetických zisků

Vyhodnocení solárních zisků je pro dimenzování fotovoltaické elektrárny klíčové, protože pomáhá určit potřebný elektrický výkon fotovoltaického pole. Solární zisk se skládá z několika složek, které dopadají na fotovoltaické pole: přímého záření, difuzního záření a odraženého záření. [5]

Při hodnocení solárních energetických zisků je důležité znát průměrné roční globální záření (přímé + difuzní) v dané lokalitě na horizontální ploše. Také je potřeba mít informace o průměrném denním globálním záření na horizontální ploše v dané lokalitě a počtu hodin slunečního svitu za celý rok v dané lokalitě. Tyto údaje nám umožňují přesněji posoudit množství sluneční energie dostupné v dané oblasti. [5]

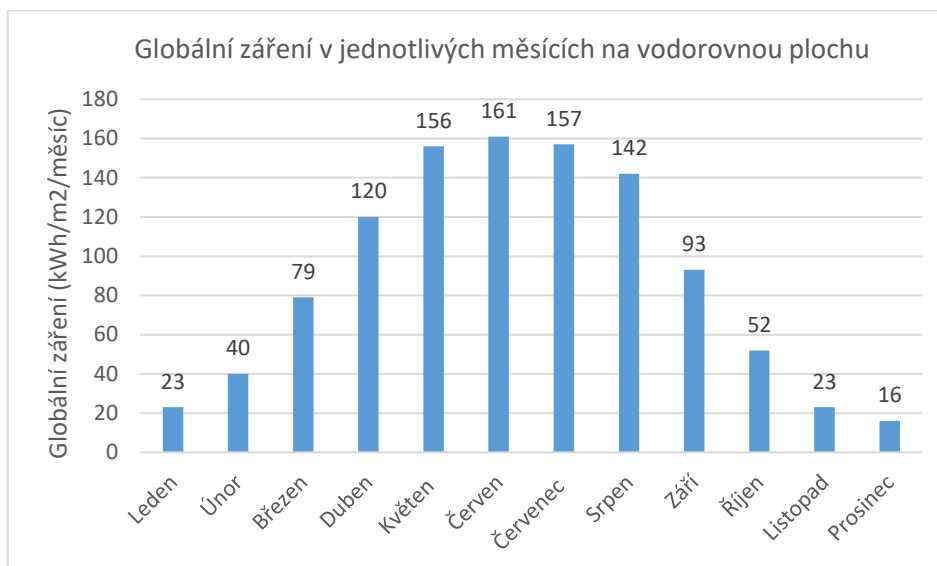
Výkon fotovoltaického pole je však také ovlivněn úhlem, pod kterým na něj dopadá slunečního záření. Proto je důležité do výpočtu zahrnout koeficient, který bere v úvahu sklon fotovoltaického pole. Tímto způsobem můžeme získat přesnější odhad výkonu, který bude fotovoltaickým polem generován. [5]

Vyhodnocení solárních zisků je pro správné navrhování a dimenzování fotovoltaických systémů zásadní, protože napomáhá k dosažení maximální efektivity a maximálního energetického výkonu těchto systémů.

K analýze možných energetických zisků lze využívat online nástroje, které jsou k dispozici zcela zdarma. Patří k nim například následující nástroje:

- PV\*SOL online,
- PVGIS,
- SISIFO.

Pomocí těchto online nástrojů lze pro dimenzování instalovaného výkonu fotovoltaické elektrárny získat nezbytná meteorologická data, s nimiž je možné dále pracovat.



Obr. 7: Celkové dopadající globální záření během roku – rozložené do jednotlivých měsíců (střední Čechy).

#### 1.2.4 Orientace a sklon fotovoltaických panelů

Pozice fotovoltaických panelů vůči slunečnímu záření má na produkci elektrické energie významný vliv. Je proto velmi důležité panely situovat pokud možno do co nejvýhodnější pozice, a to v závislosti na místních podmínkách. Obecně platí zásada, že fotovoltaické panely by měly být orientovány co nejvíce k rovníku, tzn. že pro severní hemisféru Země, kam spadá i ČR, bychom měli pro co největší energetické zisky orientovat fotovoltaické panely k jihu. Pro jižní hemisféru platí opak, tj. orientace fotovoltaických panelů k severu. [1]

Poněkud složitější otázkou je však vyhodnocení úhlu naklonění fotovoltaického panelu. Pokud chceme zachytit maximum dopadajícího slunečního záření, je třeba, aby se fotovoltaické panely natáčely za Sluncem tak, aby záření dopadalo vždy kolmo na panely – toho lze docílit pomocí tzv. „trackerů“. Použití tohoto řešení na šikmou střešní krytinu budovy však z důvodu jeho extrémní komplikovanosti nepřipadá pro běžného uživatele v úvahu. Montáž trackerů na plochou střechu je sice teoreticky možná, pokud se v návrhu správně vyřeší dostatečné ukotvení trackeru do střechy kvůli silnému větrnému namáhání. U budov tedy předpokládáme umístění fotovoltaické elektrárny (FVE) s pevnou orientací a sklonem. Pro celou ČR je optimální sklon 35° (rozdíl mezi nejsevernějším a nejižnějším místem lze zanedbat). Optimální orientace je na jih, přičemž odchylka k západu je

výhodnější než k jihovýchodu. Důvodem je, že v dopoledních hodinách je obvykle větší oblačnost, takže dopadající energie je menší. [6]

Při montáži na šikmou střechu domu je z ekonomického i estetického hlediska výhodnější panely umístit paralelně se střešní krytinou. Výnos energie v závislosti na sklonu a orientaci panelu je zobrazen na obr. 8.

Při návrhu fotovoltaické výroby tedy ve většině případů uvažujeme, že sklon a orientace fotovoltaických panelů je dána sklonem a orientací střechy (pokud se nejedná o plochu střechu/plochu). Jestliže budeme uvažovat dopadající záření na jednotku plochy, potom je pro co největší energetické zisky zapotřebí zvolit jako instalační plochu tu část střechy, která je orientovaná co nejvíce k rovníku (v případě ČR k jihu). Pokud střecha orientovaná k jihu není, potom se jako druhá nejlepší možnost jeví orientace k západu. Orientace k východu připadá v úvahu jako poslední možnost. Z hlediska energetických zisků se jako nejflexibilnější logicky jeví kombinace všech tří možností, pokud takové řešení situace vyžaduje a pokud to místní možnosti dovolí. Orientaci fotovoltaických panelů k severu se v případě ČR nedoporučuje.



Obr. 8: Výnos energie v závislosti na sklonu a orientaci panelu. [8]



### 1.2.5 Dimenzování fotovoltaické výroby

Po vyhodnocení odběru elektrické energie daného objektu a možných solárních zisků v dané lokalitě (s uvažováním naklonění plochy) je zapotřebí vypočítat potřebnou plochu pro fotovoltaickou elektrárnu podle následujícího vzorce: [8]

$$A_{PV} = \frac{L_{el}}{H_{avg} \cdot \eta_{PV} \cdot \eta_B \cdot \eta_I} \quad (1)$$

kde  $A_{PV}$  ( $m^2$ ) je potřebná plocha pro fotovoltaické pole,  $L_{el}$  ( $kWh/den$ ) je denní energetický nárok objektu,  $H_{avg}$  ( $kWh/m^2/den$ ) je průměrné dostupné denní solární záření,  $\eta_{PV}$  (%) je účinnost FV panelu,  $\eta_B$  (%) je účinnost baterie a  $\eta_I$  (%) je účinnost střídače. Celková účinnost baterie a střídače dohromady se uvažuje přibližně v hodnotě 85 až 90 %. [8]

Špičkový výkon fotovoltaické výroby pak lze vypočítat následovně:

$$P_{P(PV)} = A_{PV} \cdot I_P \cdot \eta_{PV} \quad (2)$$

kde  $I_P$  ( $W/m^2$ ) je špičkové solární ozáření – obvykle se uvažuje  $1000 W/m^2$ , ale záleží na dané lokalitě. [8]

### 1.2.6 Dimenzování bateriového úložiště

Kapacita bateriového úložiště  $B_{SC}$  ( $kWh$ ) se vypočítá na základě nepřetržitého množství dnů při zatažené obloze, účinnosti baterií, dovolené/předpokládané hloubce vybití baterie a účinnosti střídače, a to dle následujícího vzorce [8]

$$B_{SC} = \frac{N_{ccd} \cdot L_{el}}{\eta_B \cdot D_d \cdot \eta_I} \quad (3)$$

kde  $N_{ccd}$  je nejvyšší počet nepřetržitých dnů při zatažené obloze a  $D_d$  (%) je maximální dovolená hloubka vybití baterie. [8]

### 1.2.7 Dimenzování solárního regulátoru (SCC)

Při dimenzování solárního regulátoru SCC je klíčové mít informace o několika vstupních parametrech. Patří sem proud fotovoltaického stringu (resp. proud nakrátko  $I_{SC}$ ), napětí fotovoltaického stringu a napětí bateriového úložiště. [9]

Regulátor SCC se dimenzuje alespoň na  $1,25 \times I_{SC}$ , aby se zabránilo jeho přehřívání. Tímto způsobem je zajištěna dostatečná rezerva pro bezpečný provoz regulátoru. Regulátor je vybaven funkcí sledovače maximálního bodu výkonu (MPPT), což znamená, že umožňuje optimalizovat výkon z fotovoltaického pole. MPPT spouští nabíjení a ukončuje proces nabíjení při dosažení přednastavené horní mezí napětí baterie. Proces nabíjení se opět spustí, když napětí baterie klesne na přednastavenou dolní mez. [9]

Při výběru solárního regulátoru je důležité dbát na správné vstupní parametry. To znamená, že maximální napětí fotovoltaického pole a 1,25násobek proudu nakrátko  $I_{SC}$  musí být kompatibilní s vstupními parametry regulátoru. Výstupní napětí regulátoru musí odpovídat napětí baterie., Dále je důležité správně nastavit napěťové rozmezí, ve kterém má regulátor zahájit a ukončit proces dobíjení baterie. [9]

Správný výběr solárního regulátoru SCC je zásadní pro zajištění bezpečného a efektivního nabíjení baterie v solárním systému. Dnes jsou už solární regulátory běžně součástí střídače.

### 1.2.8 Dimenzování střídače

Při volbě střídače pro solární systém se zohledňuje maximální možný soudobý okamžitý výkon elektrických spotřebičů, které budou napájeny v daném objektu. Je důležité zvolit střídač, který dokáže zvládnout tento požadovaný výkon bez problémů. Pro zajištění dostatečné výkonové rezervy se při volbě střídače uvažuje s rezervou 20 %, což znamená, že střídač by měl mít kapacitu a výkon o 20 % vyšší než maximální odběr elektrických spotřebičů. [8]

Důležitým faktorem je také skutečnost, že střídač musí být „ostrovního“ typu (Off-Grid Solar Inverter). To znamená, že je navržen pro solární systémy, které nejsou připojeny

k distribuční soustavě a nevyužívají přívod elektřiny ze sítě. Střídač v takovém systému slouží k přeměně stejnosměrného proudu z fotovoltaického pole na střídavý proud, který je vhodný pro napájení elektrických spotřebičů v objektu. Off-Grid střídače mají specifické vlastnosti a funkce, které jsou optimalizovány pro samotné solární systémy bez připojení k distribuční síti. [8]

### **1.2.9 Zhodnocení výroby elektrické energie**

Vyhodnocení roční výroby elektrické energie a optimalizace návrhu fotovoltaického systému je často prováděno pomocí profesionálního simulačního nebo výpočtového softwaru. Jedním z takových nástrojů je profesionální simulační software PV\*SOL, který bude použit v této práci. PV\*SOL má výhodu v tom, že umožňuje vytvoření 3D modelu, který přesně odpovídá reálným podmínkám a umožňuje detailní analýzu zastínění fotovoltaického systému.

Díky PV\*SOL je možné provádět simulace a optimalizace různých parametrů, jako je umístění panelů, jejich orientace, sklon a další faktory ovlivňující výkon a efektivitu systému. Software bere v úvahu geografickou polohu, předpokládané sluneční záření v průběhu roku, stínění od okolních objektů a další relevantní faktory. Tímto způsobem lze získat přesnější odhad výroby elektrické energie a optimalizovat návrh systému pro dosažení maximálního výkonu.

Nevýhodou softwaru PV\*SOL je jeho vysoká cena, což může být pro některé uživatele omezujícím faktorem. Nicméně po zakoupení licence je možné software plně využívat. Existuje také možnost zkušební období, během kterého lze software zdarma používat po dobu přibližně 30 dní. Toto zkušební období umožňuje uživatelům seznámit se s funkcemi a možnostmi PV\*SOL a zhodnotit jeho vhodnost pro jejich konkrétní potřeby.

### **1.2.10 Ekonomické zhodnocení řešení**

Ekonomické zhodnocení ostrovního fotovoltaického systému je z pohledu investora klíčovou částí projektu. Zahrnuje analýzu finančních aspektů a hodnotí celkovou rentabilitu a návratnost investice. V tomto kontextu se sleduje několik faktorů. [8]

Fixní náklady FV systému jsou náklady, které jsou spojeny s pořízením zařízení a instalací a jsou vyjádřeny v současných peněžních hodnotách. Patří sem například náklady na fotovoltaické moduly, bateriový systém, solární regulátor, střídač, instalaci a další související prvky. [8]

Provozní náklady jsou náklady spojené s běžným provozem a údržbou FV systému. Patří k nim náklady na monitoring a správu systému, opravu a údržbu zařízení, náklady na palivo pro záložní generátor a také náklady na výměnu komponentů v průběhu životnosti systému. [8]

Celkové náklady na životní cyklus FV systému zahrnují součet současné hodnoty všech fixních nákladů, provozních nákladů a nákladů na údržbu. Tento přístup umožňuje získat komplexní přehled o finančních nákladech spojených s provozem a údržbou systému po celou dobu jeho životnosti. [8]

Dalším faktorem, který se zohledňuje v ekonomickém zhodnocení FV projektu, je celková návratnost investice. Tento ukazatel určuje dobu, za kterou se investované peníze vrátí investorovi. Při výpočtu návratnosti se zohledňuje celková cena systému, případná dotace, spotřeba vlastní vyrobené elektřiny, cena elektrické energie z distribuční sítě, očekávaný roční růst cen elektřiny, roční inflace a případná výměna střídače. [10]

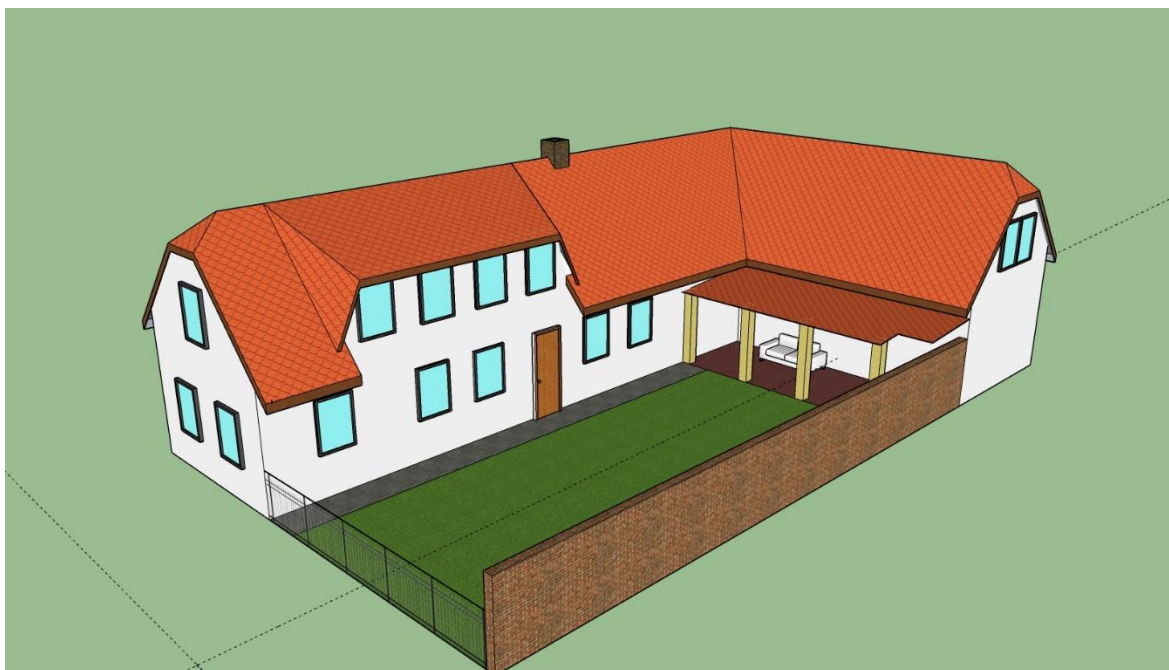
Tyto faktory společně poskytují investoru informace o finančním výnosu, nákladech a návratnosti spojené s ostrovním FV systémem. Na základě těchto analýz lze provést ekonomické rozhodnutí a zhodnotit, zda je investice do FV systému z dlouhodobého hlediska rentabilní a vhodná. [10]

## 2 Návrh ostrovní FVE na modelový objekt RD

Při návrhu fotovoltaické elektrárny pracující v ostrovním režimu je v první řadě důležité si uvědomit, že daná elektrárna bude pro daný objekt jediným hlavním zdrojem energie. Elektrárna tedy musí být navržena tak, aby energetické zisky odpovídaly potřebě pokrytí odběru elektrické energie i v nejhorším možném ročním období z hlediska množství dopadajícího slunečního záření. Nejméně slunečních hodin bývá v měsících prosinec a leden – v tomto období musí být správně navržený ostrovní systém schopen vyrábět dostatečné množství elektrické energie pro pokrytí spotřeby. Důležitou součástí ostrovního systému bývá správné dimenzování akumulace elektrické energie pro období bez slunečního svitu, noční odběr či pro pokrývání špiček odběru při nedostatečně silné výrobě elektriny z fotovoltaických panelů. Pro případné poruchy/výpadky systému nebo např. pro období s neobvykle malým slunečním svitem je vhodné systém vybavit záložním zdrojem elektrické energie. Ne vždy je možné systém vyprojektovat tak, aby pokryl spotřebu čistě ze solární energie (např. nedostatečná plocha pro umístění FV panelů, příliš vysoké pořizovací náklady na baterie o velké kapacitě atd.). V takovém případě bude záložní zdroj spíše spolupracovat s hlavním systémem, a proto jej lze považovat za součást hlavního systému, případně jej lze přímo projektovat jako odnož hlavního systému.

Obvykle se fotovoltaické ostrovní elektrárny instalují na střechy obydlí – většinou rodinné domy, chaty nebo obydlí bez možnosti připojení do distribuční sítě. Každý ostrovní fotovoltaický systém už z principu musí být unikátní. Při jeho návrhu je třeba zohlednit všechny možné aspekty, které by mohly výrobu ovlivňovat. Základní aspekty, které je třeba zohlednit, jsou lokalita – průměrné roční sluneční záření, sklon střechy, azimut střechy, zastínění potenciální výroby od okolních objektů – a spotřeba elektrické energie v jednotlivých ročních obdobích.

V této práci je uvažován reálný modelový objekt – rodinný dům (RD). V následujících bodech jsou rozvedeny konkrétní podmínky, ve kterých se RD nachází. Pro lepší vizuální představu byl RD překreslen pomocí software do 3D modelu, viz. obr. 9. Model byl vytvořen na základě obhlídky reálné situace a dále pomocí poskytnutých stavebních výkresů. Hypoteticky berme v úvahu, že objekt nemá možnost být připojen k distribuční síti.



Obr. 9: Modelový objekt – rodinný dům (RD). [autor]

### 2.1 Lokalita RD

#### 2.1.1 Analýza situace

Rodinný dům se nachází ve středočeském kraji (okres Kolín). Dům se nachází v zastavěné části obce, viz. letecké foto na obr. 10.

Sousední budova, umístěná na jižní straně, má pouze jedno nadzemní podlaží, zatímco modelový objekt má dvě nadzemní podlaží. Tato situace je výhodná z hlediska zastínění. V důsledku pohybu Slunce bude jižní střecha dále stíněna sousední budovou ze strany jihovýchodu. Dále může být výroba energie negativně ovlivněna stínícím komínem.

Západně orientovaná střecha má potenciál být stíněna okolními stavbami, zejména v zimním období, kdy sluneční paprsky dopadají na zem pod menším úhlem. Tato situace způsobuje, že sluneční světlo může být blokováno a střecha tak bude méně exponována slunečnímu záření.

Východně orientovaná střecha, konkrétně jižní část východně orientované střechy, má potenciál být stíněna především samotnou stavbou. To znamená, že vlastní konstrukce budovy bude způsobovat zastínění této části střechy. Tím dochází k omezení slunečního záření, které může na tuto část střechy dopadat.



Obr. 10: Letecká fotografie modelového objektu – reálná situace. [zdroj: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)]

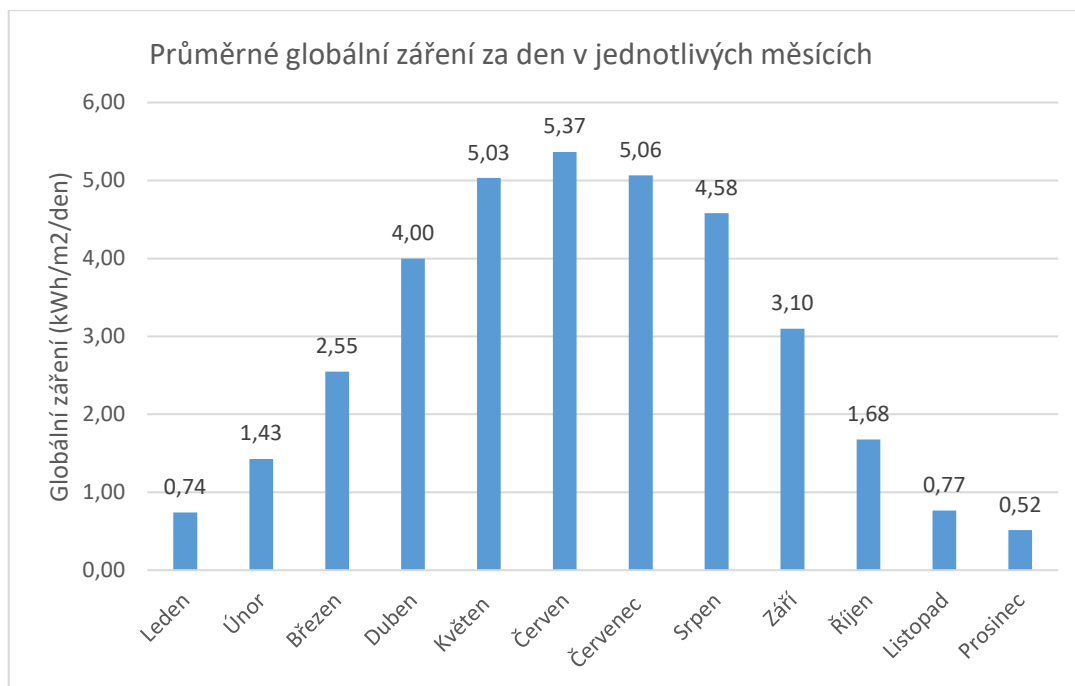
### 2.1.2 Analýza solárních energetických zisků

Roční sluneční globální vyzáření v této lokalitě je přibližně 1000 kWh/m<sup>2</sup>. Průměrná roční teplota je přibližně 9,7 °C. Průměrné denní globální záření na vodorovnou plochu rozložené do jednotlivých měsíců v roce ilustruje obr. 11.

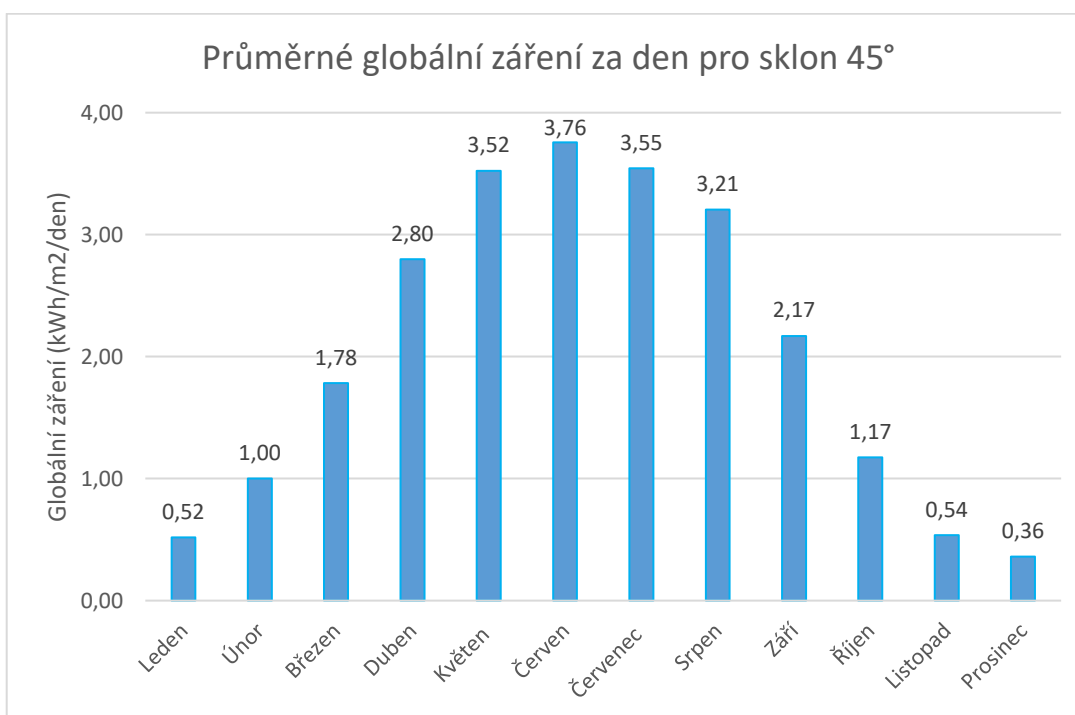
Globální záření na vodorovnou plochu je však dále nutné přepočítat podle sklonu fotovoltaického pole, což je v tomto případě dáno sklonem střechy 45°. Výsledný graf je zobrazen na obr. 12. Koeficient pro přepočet se určí následujícím způsobem:

$$k_{pFV} = \cos(\alpha) \quad (4)$$

kde  $\alpha$  (°) je úhel náklonu fotovoltaických panelů. Pro naklonění 45° je tento koeficient roven hodnotě 0,7. Koeficientem se následně přepočítají hodnoty v grafu na obr. 8.



Obr. 11: Průměrné denní globální záření pro každý měsíc v roce – vodorovná plocha.



Obr. 12: Průměrné denní globální záření pro každý měsíc v roce – sklon 45°.

Z grafu na obr. 12 lze vypožorovat, že nejhorší možné období z hlediska solárních energetických zisků je prosinec, kdy hodnota dopadajícího záření činí 0,36 kWh/m<sup>2</sup>/den. Tuto hodnotu budeme uvažovat v následujících výpočtech, tzn.  $H_{avg} = 0,36 \text{ kWh/m}^2/\text{den}$ .



### 2.2 Střecha RD – orientace a sklon FV panelů, instalační plocha

Střecha modelového objektu je sedlová, má tedy tvar dvou protilehlých svahů spojených ve vrcholu. Pro tuto střechu jsou použity pálené tašky TONDACH – Stodo 12 STOD. Sklon střechy je  $45^\circ$  vůči zemi, což určuje úhel naklonění fotovoltaických panelů vůči zemi.

Při návrhu fotovoltaické výroby v prostředí střeoevropských podmínek je výhodné zaměřit se na jižně orientované střechy, které směřují k rovníku. Tyto střechy mají největší potenciál pro efektivní využití sluneční energie. Dále se také zohledňují západně nebo východně orientované střechy, které mohou poskytovat dobrý výkon v určených časech dne.

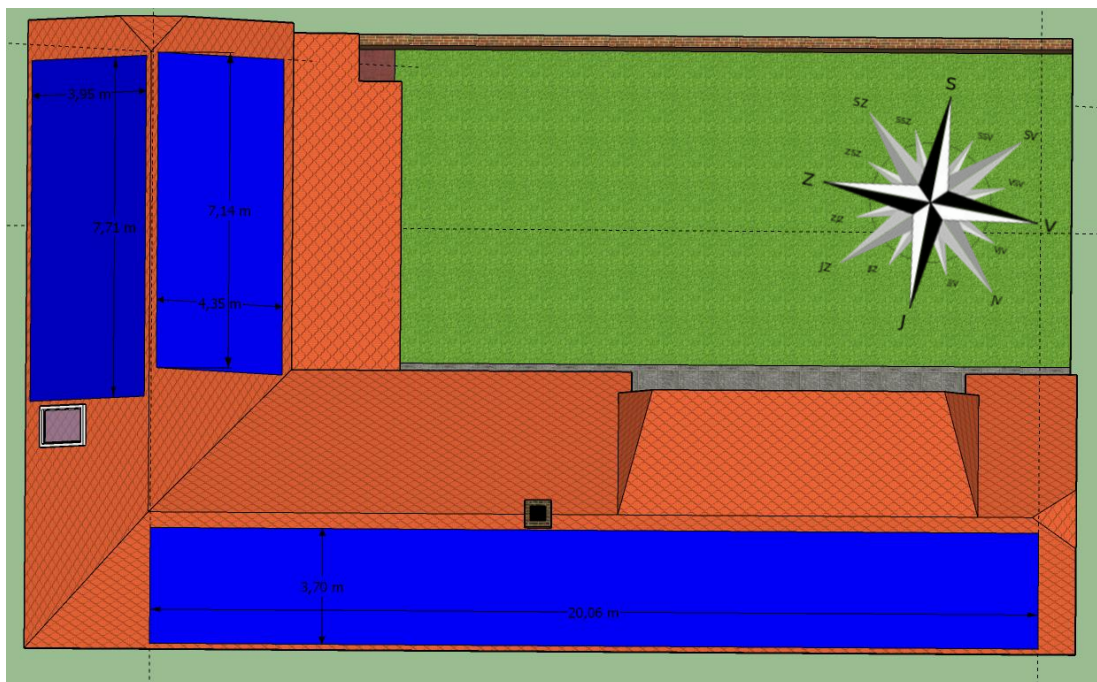
Naopak severně orientované fotovoltaické výroby nebudou mít ve střeoevropských podmínkách příliš velký energetický potenciál, což je způsobeno nakloněním zemské osy vůči Slunci a polohou severní hemisféry Země, kde se nacházíme. Proto se při návrhu fotovoltaického systému preferují orientace, které za účelem efektivní výroby elektriny zajišťují co nejvyšší zisk sluneční energie .

Azimut (tj. sever =  $0^\circ$ ):

- Jižně orientovaná střecha:  $174^\circ$
- Východně orientovaná střecha:  $84^\circ$
- Západně orientovaná střecha:  $264^\circ$  (resp.  $-96^\circ$ )

Maximální možná teoretická instalační plocha (viz. obr. 10):

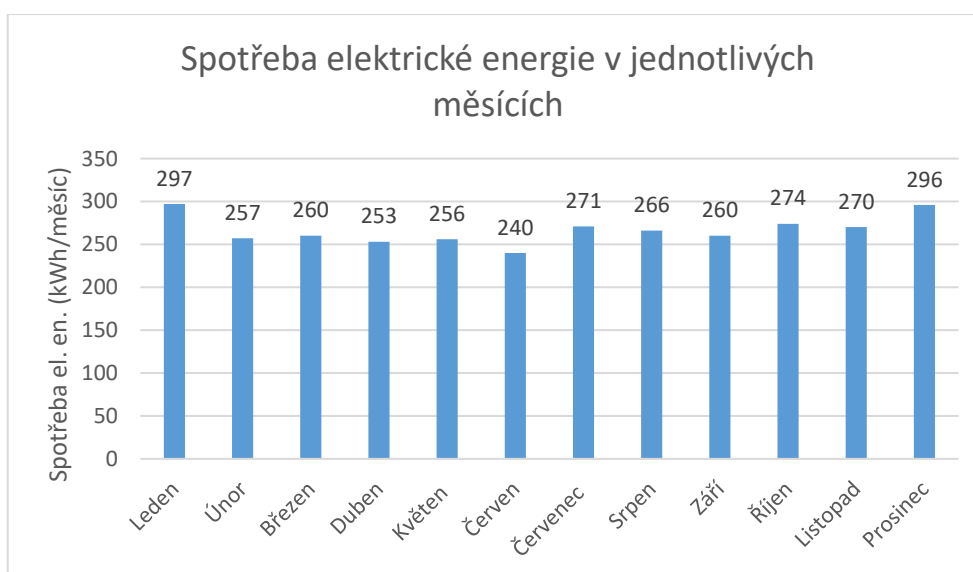
- Jižně orientovaná střecha:  $74 \text{ m}^2$  ( $3,7 \times 20 \text{ m}$ )
- Východně orientovaná střecha:  $31 \text{ m}^2$  ( $4,35 \times 7,14 \text{ m}$ )
- Západně orientovaná střecha:  $30 \text{ m}^2$  ( $7,7 \times 3,95 \text{ m}$ )



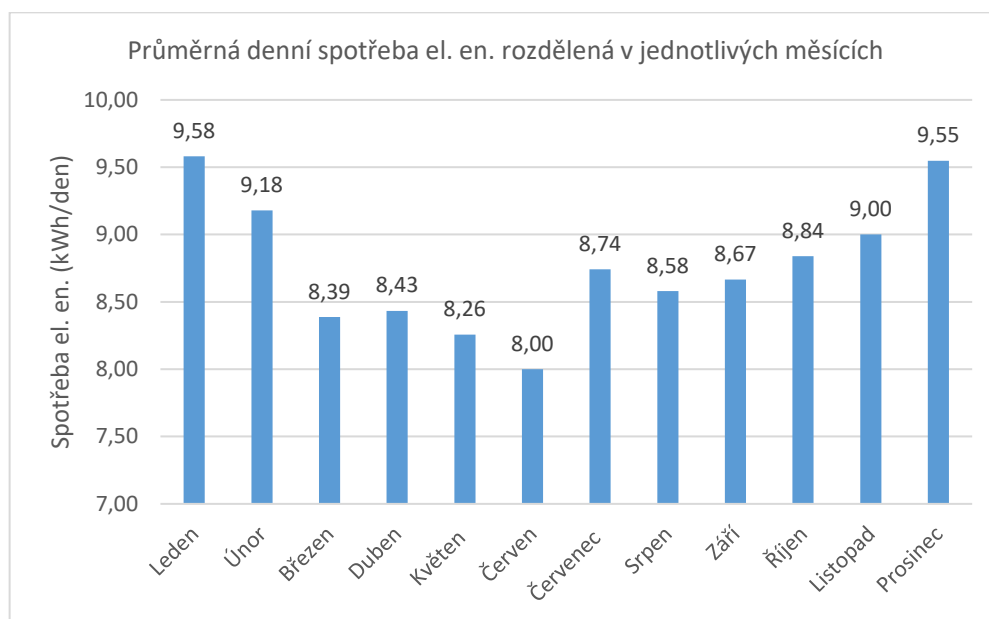
Obr. 13: Rozměry instalačních ploch modelového objektu. [autor]

### 2.3 Spotřeba elektrické energie RD

Objekt je obýván čtyřmi dospělými osobami. Průměrná roční spotřeba elektrické energie se pohybuje okolo 3200 kWh/rok. Spotřebu elektrické energie v jednotlivých měsících ilustruje graf na obr. 10. Přepočtenou spotřebu elektrické energie na den uvádí obr. 14. Momentálně je dům vytápěn zemním plynem nebo spalováním dřeva v krbu.



Obr. 14: Spotřeba elektrické energie modelového objektu rozložená do jednotlivých měsíců.



Obr. 15: Průměrná denní spotřeba el. en. modelového objektu rozložená do jednotlivých měsíců.

Z grafů na obr. 14 a obr. 15 lze vyčíst, že největší spotřeba elektrické energie nastává v měsících prosinec a leden – pohybuje se okolo 300 kWh/měsíc, respektive cca 10 kWh/den. S průměrnou denní spotřebou budeme počítat při návrhu elektrárny v následujících výpočtech, tzn.  $L_{el} = 10 \text{ kWh/den}$ .

## 2.4 Dimenzování fotovoltaické výroby

Výpočet potřebné plochy pro fotovoltaické pole dle rovnice (1):

Výpočet je zaměřen na nejhorší možné období z hlediska dopadající sluneční energie, což je zimní období. V zimě, konkrétně v měsících prosinci a lednu, se okolní teplota v zvolené lokalitě pohybuje průměrně mezi  $-1 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Tuto skutečnost je důležité zohlednit při výpočtu účinnosti fotovoltaických modulů. Předpokládáme, že v zimě je teplota nižší než optimální teplota  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$  stanovená dle standardizovaných testovacích podmínek FV modulů (STC – Standard Test Conditions). Účinnost FV panelu se snižuje s každým  $^{\circ}\text{C}$  vyšším než  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Proto v rámci výpočtu předpokládáme, že účinnost FV modulu v zimním období bude dosahovat maximální možné hodnoty. Tímto předpokladem zohledňujeme zhoršení účinnosti FV panelu při vyšších teplotách a provádíme výpočty s nejlepším předpokládaným výsledkem v zimních podmínkách.

$$A_{PV} = \frac{10}{0,36 \cdot 0,208 \cdot 0,85} \cong 158 \text{ m}^2 \quad (5)$$

### Výpočet reálné plochy fotovoltaického pole:

Uvažované rozměry instalačních ploch ilustruje obr. 10. Uvažovány jsou fotovoltaické panely TRINA VERTEX S – 400 Wp s reálnými rozměry 1754x1096 mm. FV panely umístěné vedle sebe jsou v této práci označeny jako „ŘADA“, panely umístěné pod sebou jsou označeny jako „SLOUPEC“. Celkový počet FV modulů je označen výrazem „CELKEM“. Celková plocha zabraná FV moduly nese označení „PLOCHA“.

- Jižně orientovaná střecha:
  - ŘADA =  $20 / 1,754 = 11$  modulů
  - SLOUPEC =  $3,7 / 1,096 = 3$  moduly
  - CELKEM = ŘADA x SLOUPEC =  $11 \times 3 = 33$  modulů
  - PLOCHA = CELKEM x 1,754 x 1,096 = 63,4 m<sup>2</sup>
  
- Východně orientovaná střecha:
  - ŘADA =  $7,14 / 1,754 = 4$  moduly
  - SLOUPEC =  $4,35 / 1,096 = 3$  moduly
  - CELKEM = ŘADA x SLOUPEC =  $4 \times 3 = 12$  modulů
  - PLOCHA = CELKEM x 1,754 x 1,096 = 23 m<sup>2</sup>
  
- Západně orientovaná střecha:
  - ŘADA =  $7,71 / 1,754 = 4$  moduly
  - SLOUPEC =  $3,95 / 1,096 = 3$  moduly
  - CELKEM = ŘADA x SLOUPEC =  $4 \times 3 = 12$  modulů
  - POCHA = CELKEM x 1,754 x 1,096 = 23 m<sup>2</sup>

Plocha zabraná fotovoltaickými panely činí celkem 109,4 m<sup>2</sup>, což je méně než plocha potřebná pro vybudování plnohodnotného fotovoltaického pole o ploše  $A_{PV}$ , která činí 158 m<sup>2</sup>. Proto je nezbytné navrhnout a implementovat záložní zdroj elektrické energie, který bude sloužit k pokrytí zbývajících spotřeby elektrické energie. Tento záložní zdroj zajistí, že spotřeba energie bude kompletně pokryta i v případě, kdy plocha fotovoltaických panelů pro její plné uspokojení není dostačující.

### Instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny:

Celkový instalovaný výkon FVE se určí vynásobením celkového počtu modulů výkonem 1 modulu (v našem případě 400 Wp, resp. 0,4 kWp).

$$P_i = \text{počet modulů} \times \text{výkon modulu} \quad (6)$$

$$P_i = (33 + 12 + 12) \cdot 0,4 = 57 \cdot 0,4 = 22,8 \text{ kWp} \quad (7)$$

Celkový instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny (FVE) je **22,8 kWp**. Z tohoto celkového instalovaného výkonu je **13,2 kWp** instalováno na jižně orientovaných modulech, kterých je celkem 33. Další **4,8 kWp** je instalováno na západně orientovaných modulech, kterých je 12, a zbývajících **4,8 kWp** je instalováno na východně orientovaných modulech, kterých je rovněž 12. Tímto rozdělením je zajištěno, že fotovoltaická elektrárna využívá sluneční energii z různých směrů a optimalizuje výrobu elektrické energie v průběhu dne.

### 2.5 Dimenzování bateriového úložiště

Při návrhu kapacity bateriového úložiště budeme brát v úvahu maximální hloubku vybití baterie, která bude stanovena na 40 % celkové kapacity baterie, což znamená, že zůstane k dispozici 60 % kapacity pro další využití ( $D_d = 60\% = 0,6$ ). Doba autonomie systému, tedy počet dní, po které systém dokáže fungovat bez slunečního svitu pouze z energie v bateriích, bude stanovena na 1,5 dne ( $N_{ccd} = 1,5$ ).

Celková účinnost bateriového úložiště a střídače je předpokládána na 80 %, což znamená, že při přenosu energie z baterie na zátěž dochází ke ztrátě 20 %. Celková kapacita bateriového úložiště ( $B_{SC}$ ) se vypočítá dle rovnice (3) (dosazeno v rovnici (7)).

$$B_{sc} = \frac{1,5 \cdot 10}{0,8 \cdot 0,6} = 29,4 \text{ kWh} \approx 30 \text{ kWh} \quad (8)$$

Tab. 2: Nutná kapacita baterie pro zajištění doby autonomie v závislosti na dnech.

Doba autonomie (dny)	1	2	3	4	5	6	7
B <sub>sc</sub> (kWh)	20	40	60	80	100	120	140

Z tabulky 2 je patrný následující vztah:– čím delší je doba autonomie, tím větší je kapacita baterie a tím vyšší jsou náklady na bateriové úložiště.

#### Volba napětí bateriového systému:

Standartní napěťové hladiny bateriových úložišť se obvykle pohybují v rozmezí **12; 24; 48; 96 a 192 Vdc**. Volba konkrétní napěťové hladiny je důležitá, protože ovlivňuje velikost proudu, který bude přenášen skrze systém. Obecně platí, že nižší napěťová hladina znamená vyšší proud, zatímco vyšší napěťová hladina znamená nižší proud.

Výběr správné napěťové hladiny je důležitý zejména z hlediska dimenzování vodičů, které jsou připojeny k bateriovému úložišti. Vyšší proud vyžaduje tlustší vodiče, aby se minimalizovaly ztráty energie v podobě tepelného odporu a napěťového poklesu při přenosu elektrického proudu. Při nižších napěťových hladinách s vyšším proudem je tedy nutné použít robustnější a větší vodiče.

Samotná volba napěťové hladiny bateriového úložiště je určena zvolenou technologií, jako je například střídač nebo solární regulátor. Tato zařízení jsou navržena pro konkrétní napěťové hladiny a umožňují efektivní nabíjení a výkon baterií. Při výběru technologie je tedy důležité zohlednit požadovanou napěťovou hladinu a provést kompatibilitu mezi bateriovým úložištěm a střídačem či solárním regulátorem.

## Volba technologie bateriového systému:

Technologie bateriového systému má vliv na schopnost vybíjení baterie, což ovlivňuje maximální výkon, který baterie může dodat. Rychlost, kterou lze baterii vybit, určuje, jaký maximální výkon je schopna poskytnout.

Zjednodušeně řečeno, čím rychleji lze baterii vybit, tím vyšší výkon je schopna dodat. To znamená, že technologie bateriového systému, která umožňuje rychlé vybíjení, může poskytnout vyšší výkon v daném okamžiku.

Je důležité zvolit technologii bateriového systému, která odpovídá potřebám konkrétní aplikace. Pokud je vyžadován vysoký okamžitý výkon, je vhodné zvolit technologii, která umožňuje rychlé vybíjení baterie. Naopak, pro aplikace, kde není potřeba vysokého okamžitého výkonu, mohou být výhodné i jiné technologie, které se zaměřují spíše na jiné faktory, například energetickou hustotu nebo životnost baterie.

V současnosti se používají 3 základní technologie pro bateriové systémy: na bázi olova (Lead-Acid), lithium-železo-fosfát (LiFePO<sub>4</sub>, LFP) a lithium-iont (Li-Ion).

## **2.6 Volba technologie**

### **2.6.1 Fotovoltaické moduly**

V případě fotovoltaických panelů byl zvolen typ TRINA VERTEX S – 400 Wp (TSM DE09.08), monokrystal. Účinnost modulu dle STC je 20,8 % při ozáření 1000 W/m<sup>2</sup> při teplotě článku 25 °C. Katalogový list produktu je přiložen k diplomové práci.

### **2.6.2 Střídač**

Jako střídač byl zvolen typ InfiniSolar 10 kW v počtu 2 kusů. Střídač má v sobě zabudované 2 solární regulátory typu MPPT a bateriový vstup o napěťové hladině 48 Vdc. Střídač č. 1 bude napájen z jižně orientované FV výroby – výroba bude rozdělená na 2 stringy (MPPT1, MPPT2). Střídač č. 2 bude mít na regulátoru MPPT1 napojenou východně

orientovanou FV výrobu, a na regulátoru MPPT2 západně orientovanou FV výrobu. Katalogový list střídače je přiložen k diplomové práci.

### **2.6.3 Bateriové úložiště**

Zvolený typ baterie je PYLONTECH US3000 v počtu 8 kusů. Jmenovité napětí jednoho kusu baterie je 48 V a kapacita 3,552 kWh. Jednotlivé bateriové moduly budou zapojeny paralelně, aby nebylo překročeno požadované napětí bateriového vstupu střídače 48 Vdc. Celková kapacita bateriového úložiště bude činit 28,4 kWh (8x3,552 kWh). Katalogový list baterie je přiložen k diplomové práci.

### **2.6.4 Elektrocentrála**

Pro zajištění nepřetržité dodávky energie do odběru RD je zapotřebí napojit elektrocentrálu přes tzv. automatickou přepínací jednotku (ATS – Automatic Transfer Switch). ATS slouží k automatickému přepínání napájení mezi elektrocentrálou a fotovoltaickým systémem. To znamená, že pokud dojde k výpadku dodávky elektřiny z fotovoltaického systému, ATS okamžitě přepne na elektrocentrálu, aby zajistil nepřetržitý provoz v domácnosti.

V tomto případě byl vybrán specifický typ elektrocentrály – HERON LPGG o výkonu 4,8 kVA. Tento typ elektrocentrály je navržen pro spolehlivou a účinnou provozní autonomii a pro zabezpečení energetických potřeb RD je schopen poskytnout potřebný výkon. Důležité je, že elektrocentrála HERON LPGG je vybavena vstupem pro ATS, což zajišťuje snadné připojení a řízení přepínání mezi elektrocentrálou a fotovoltaickým systémem.



## 2.7 Schéma zapojení

Kompletní schéma zapojení FVE je přiloženo k diplomové práci.

### 2.7.1 Slovní popis

Celá FVE bude napojena přes 2 střídače InfiniSolar 10 kW, které budou pracovat paralelně a vzájemně mezi sebou komunikovat přes datový kabel. Každý střídač má v sobě zabudované 2 solární regulátory typu MPPT – celkem jsou tedy k dispozici 4 solární regulátory typu MPPT. Napětový rozsah jednoho MPPT je 400 až 800 Vdc. Za předpokladu použití FV modulů Trina Vertex S 400 Wp, které mají napětí naprázdno 41,2 V, lze napojit na jeden MPPT maximálně 19 těchto modulů do série. Maximální vstupní proud MPPT může být nejvýše 18,6 A s tím, že proud nakrátko ( $I_{sc}$ ) FV modulů je 12,28 A – splňuje.

Celé jižně orientované FV pole bude napojeno na střídač č. 1 s tím, že na MPPT1 bude napojeno 17 modulů v sérii a na MPPT2 16 modulů v sérii. Vstupní výkon činí 13,2 kWdc s tím, že střídač lze napojit až 15 kWdc.

Na střídač č. 2 bude napojeno východně i západně orientované FV pole. Konkrétně to znamená, že na MPPT1 bude napojeno východně orientované FV pole (12 modulů v sérii; 4,8 kWdc) a na MPPT2 bude napojeno západně orientované FV pole (12 modulů v sérii; 4,8 kWdc).

Oba střídače budou napájeny ze společné baterie Pylontech US3000C 48 Vdc o celkové kapacitě 28,4 kWh (8x3,552 kWh v paralelním zapojení).

Rozváděč RFV-DC obsahuje DC přepětíové ochrany pro každý FV string, pojistkové odpínače pro FV stringy a pojistkové odpínače pro baterie.

Rozváděč RFV-AC obsahuje AC přepětíové ochrany a jističe pro každý střídač. Celý výkon elektrárny je následně napojen přes společný jistič a přes automatickou přepínací jednotku (ATS) přímo do zátěže RD.

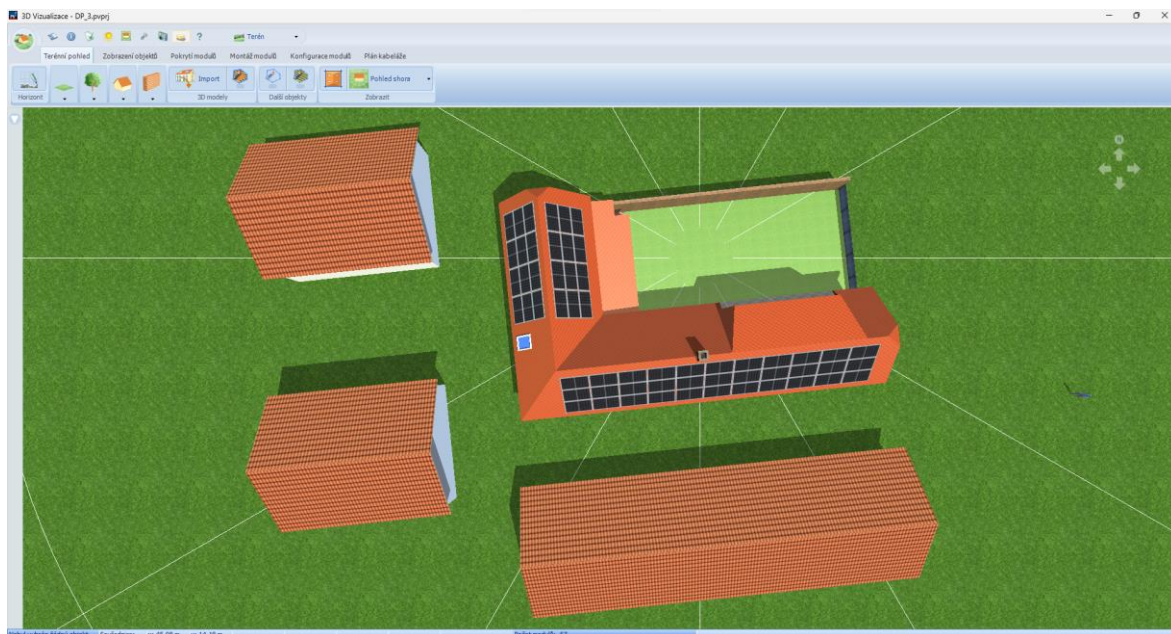
Na druhý vstup automatické přepínací jednotky ATS je přes jištění napojena třífázová elektrocentrála. Automatický start elektrocentrály bude zajištěn pomocí datového kabelu –

bude-li nedostatek energie z FV systému, potom elektrocentrála automaticky sepne a naopak.

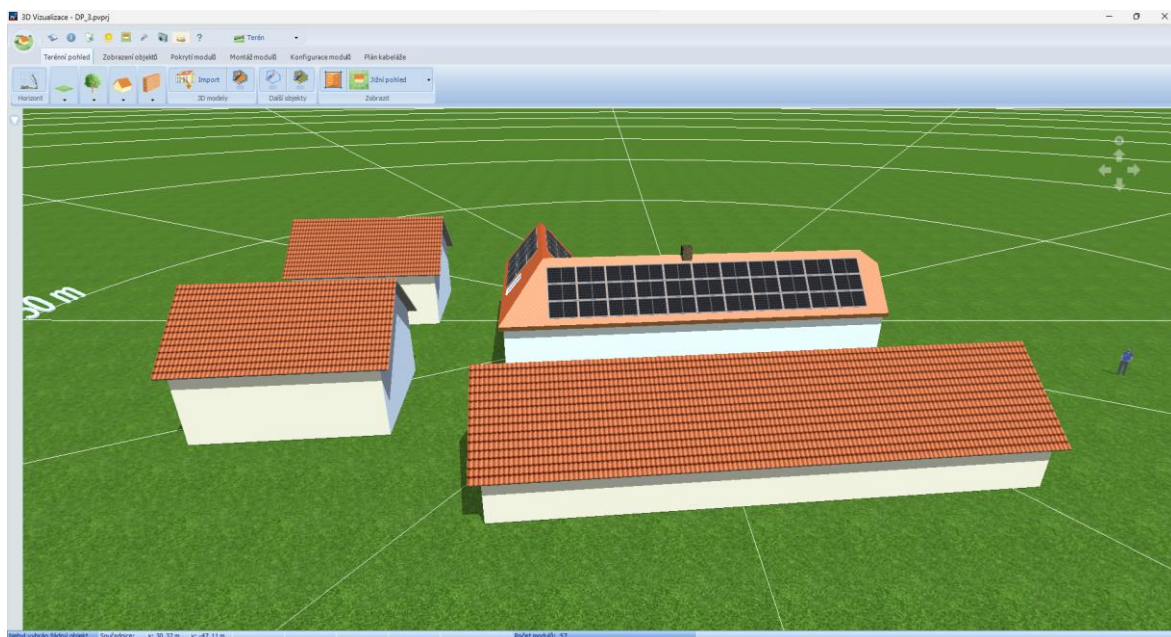
### 3 Simulace výroby elektrické energie z FVE

Simulace výroby elektrické energie z ostrovního fotovoltaického systému byla provedena pomocí software PV\*SOL v rámci zkušební doby trvající 31 dní.

#### 3.1 Vizualizace situace



Obr. 16: Vizualizace situace v PV\*SOL – napodobení reálných podmínek (dle obr. 7) - 1.



Obr. 17: Vizualizace situace v PV\*SOL - napodobení reálných podmínek (dle obr. 7) - 2.

### 3.2 Analýza zastínění

Analýza zastínění je klíčovou součástí procesu návrhu fotovoltaického systému, protože nám poskytuje informace o ztrátách způsobených stíněním. Fotovoltaické moduly jsou obvykle propojeny do série, což vytváří tzv. „string“. Celý string je ovlivněn výkonem toho modulu, který je nejvíce zastíněn. Znalost zastínění je tedy důležitá pro optimální rozdělení fotovoltaických stringů.

Analýza zastínění nám umožňuje identifikovat oblasti, které jsou náchylné k zastínění, například kvůli překážkám v okolí, jako jsou budovy, stromy nebo jiné konstrukce. Tímto způsobem můžeme optimalizovat umístění fotovoltaických panelů a rozmístění systému tak, abychom ztráty způsobené stíněním minimalizovali.

Rozdělení fotovoltaických stringů na základě analýzy zastínění nám umožňuje optimalizovat výkon celého systému. Tím se minimalizuje negativní vliv nejvíce zastíněného modulu na výkon celého stringu. Díky znalosti zastínění můžeme lépe plánovat a navrhovat konfiguraci fotovoltaických panelů a zajistit tak efektivnější využití sluneční energie a vyšší výkon fotovoltaického systému.

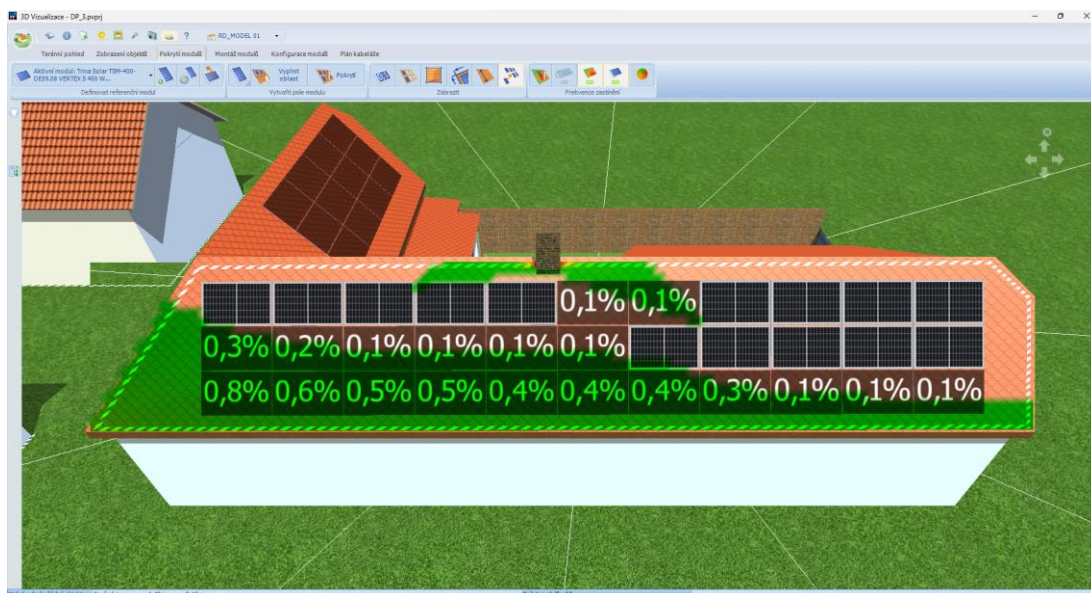
#### 3.2.1 Jižně orientované moduly

Zastínění jižně orientovaných modulů je ilustrováno na obrázku číslo 18. Moduly orientované směrem na jih jsou stíněny zejména sousední stavbou z jižní strany a částečně stavbou z jihozápadní strany. Nejvýraznější zastínění je patrné u prvních dvou dolních řad modulů, zejména v levé části fotovoltaického pole. Je zde také pozorovatelný vliv stínění od komínu.

Z rozložení zastínění vyplývá specifické zapojení fotovoltaických stringů. String č. 1, který bude napojen na MPPT1 střídače č. 1, bude sestávat ze sériového zapojení celé vrchní řady a prvních pěti modulů druhé řady zprava. Celkem bude tento string obsahovat 16 modulů.

Zbylé moduly budou zapojeny v sérii na MPPT2 střídače č. 1. Tento string bude obsahovat celkem 17 modulů.

Tento způsob zapojení stringů umožňuje lepší využití solární energie v závislosti na rozložení zastínění jednotlivých modulů.



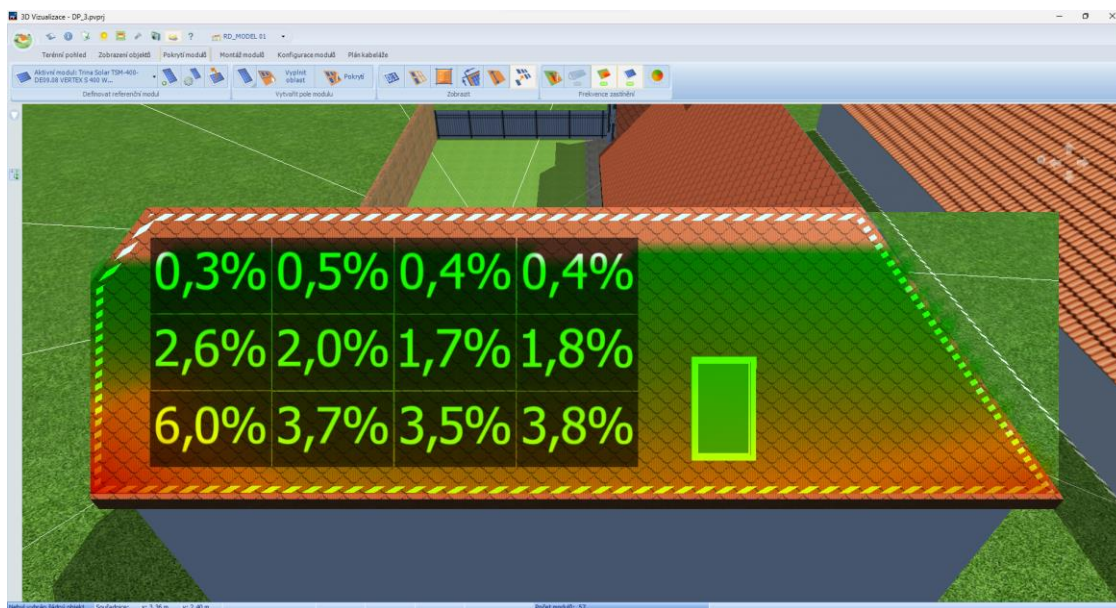
Obr. 18: Zastínění jižně orientovaných modulů.

### 3.2.2 Západně orientované moduly

Západně orientované moduly jsou stíněny podle zobrazení na obrázku č. 19. Nejvýraznější zastínění je patrné na levém dolním panelu fotovoltaického pole, a to z důvodu přilehlých staveb. Tento levý dolní panel je nejvíce stíněným panelem v celé fotovoltaické elektrárně, přičemž zastínění dosahuje 6 % během celého roku.

To znamená, že na tomto konkrétním panelu je v průběhu roku zaznamenáno zastínění ve výši 6 %, což ovlivňuje jeho výrobu elektrické energie. Zastínění tohoto panelu je způsobeno blízkými stavbami, které svým stínem snižují množství dopadajícího slunečního záření.

Celé západně orientované FV pole bude napojeno na MPPT1 střídače č. 2.

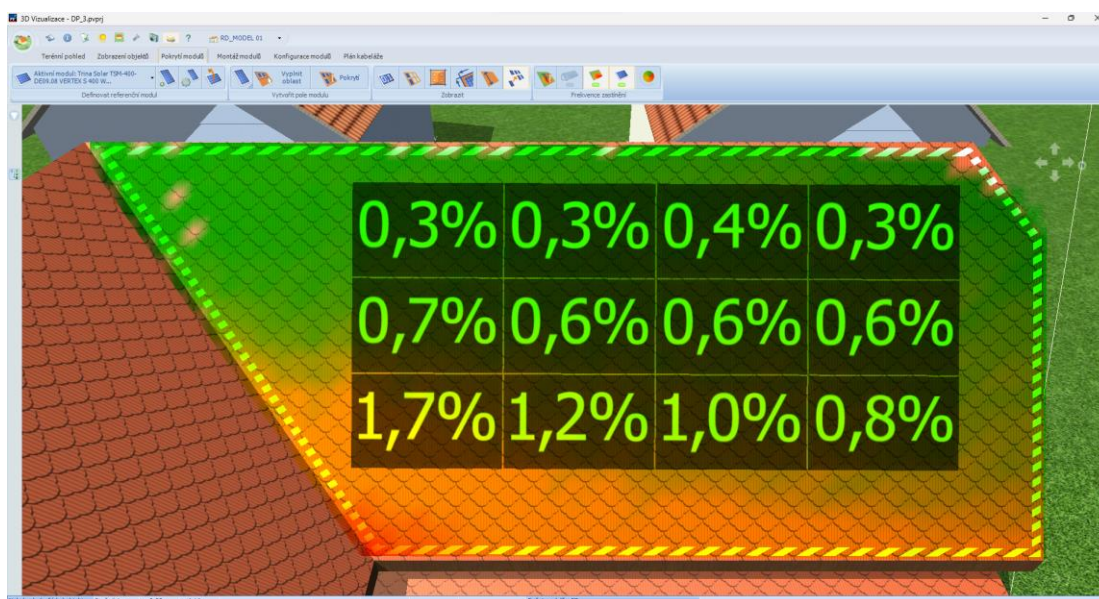


Obr. 19: Zastínění západně orientovaných modulů.

### 3.2.3 Východně orientované moduly

Zastínění východně orientovaných modulů je znázorněno na obrázku 20. V tomto případě je fotovoltaické pole nejvíce stíněno samotnou stavbou. Největší míra zastínění je pozorována v levé spodní části fotovoltaického pole.

Celé východně orientované FV pole bude napojeno na MPPT2 střídače č. 2.



Obr. 20: Zastínění východně orientovaných modulů.

### 3.3 Výsledky simulace

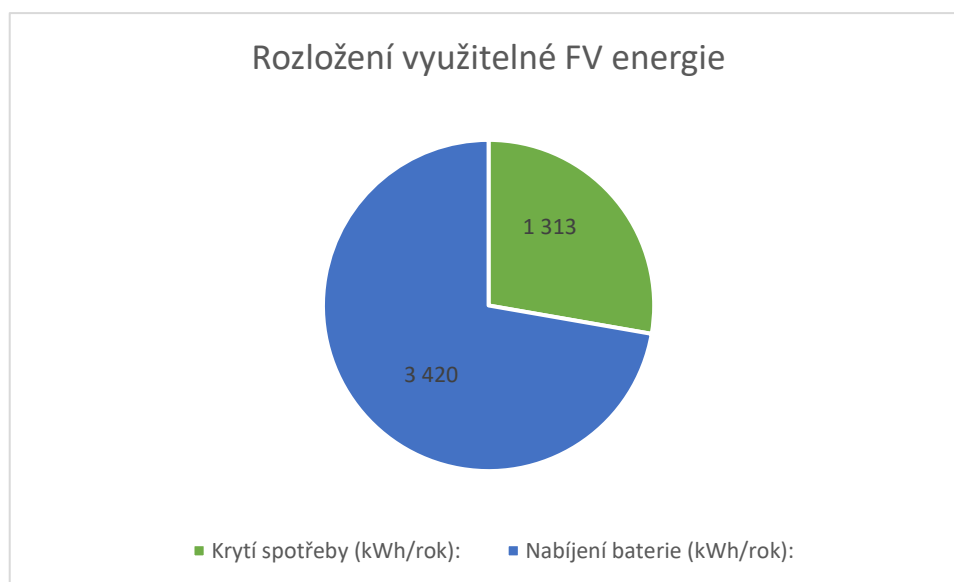
#### 3.3.1 FV systém

Z tabulky 3 je patrné, že maximální možná FV energie činí zhruba 19 000 kWh/rok. V případě tohoto návrhu je využitelná FV energie zhruba 4 730 kWh/rok, tzn. 24 % z celkové maximální možné FV energie. Pro navýšení využitelné FV energie by bylo zapotřebí navýšit zejména kapacitu bateriového úložiště, což by však v důsledku znamenalo navýšení pořizovacích nákladů.

Tab. 3: Rozložení FV energie – krytí spotřeby/nabíjení baterie.

<b>Max. možná FV energie (kWh/rok):</b>	19 138
<b>Využitelná FV energie (kWh/rok):</b>	4 730
<b>Krytí spotřeby (kWh/rok):</b>	1 313
<b>Nabíjení baterie (kWh/rok):</b>	3 420

Zhruba 3/4 z celkové vyrobené elektrické energie z FV panelů bude využita pro nabíjení bateriového úložiště. Zbývá 1/4 vyrobené energie bude pokrývat spotřebu objektu RD v reálném čase.



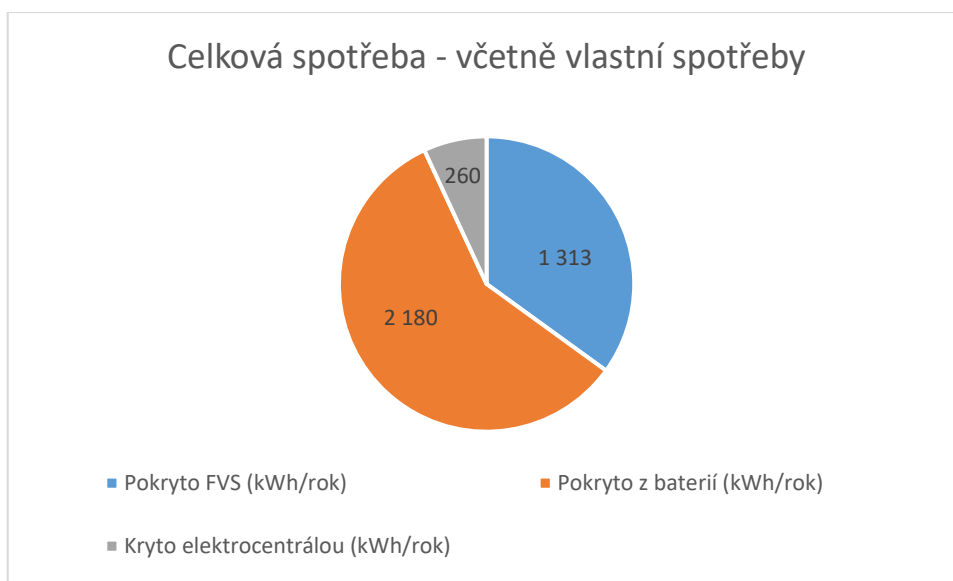
Obr. 21: Rozložení využitelné FV energie – výsledek simulace.

### 3.3.2 Spotřeba

Celková spotřeba RD se skládá zejména ze samotné spotřeby objektu, spotřeby střídačů a ztrát na kabelech. Zhruba 58 % spotřeby elektrické energie bude pokrýváno z naakumulované energie v bateriovém úložišti. Zhruba 35 % spotřeby elektrické energie bude pokrýváno z okamžité výroby FV energie. Zbytek spotřeby bude vykrýván energií z elektrocentrály (zhruba 7 %).

Tab. 4: Rozložení spotřeby a krytí spotřeby.

<b>Spotřeba objektu (kWh/rok):</b>	3 200
<b>Spotřeba střídačů (kWh/rok):</b>	70
<b>Ztráty v kabelech (kWh/rok):</b>	480
<b>Celková spotřeba (kWh/rok):</b>	3 750
<b>Pokryto FVS (kWh/rok):</b>	1 313
<b>Pokryto z baterií (kWh/rok):</b>	2180
<b>Kryto elektrocentrálou (kWh/rok):</b>	260



Obr. 22: Celková spotřeba el. energie – pokrývání odběru jednotlivými zdroji.

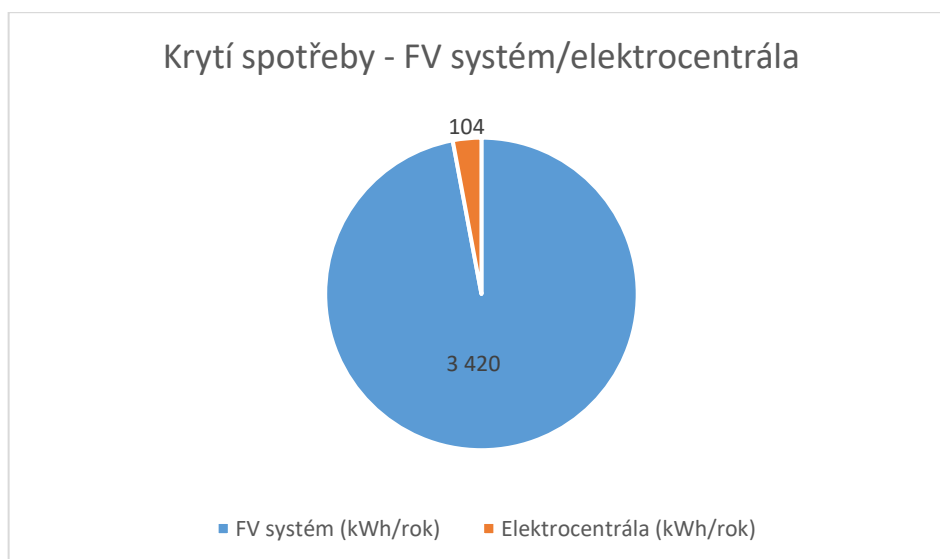


### 3.3.3 Bateriový systém

Bateriové úložiště naakumuluje v součtu 3 523 kWh/rok. Zhruba z 97 % energie bude pocházet ze slunečního záření, zbylé 3 % bude pokrývat energie z elektrocentrály.

Tab. 5: Rozložení energie – bateriový systém.

<b>Nabití baterie (kWh/rok)</b>	3 523
<b>FV systém (kWh/rok)</b>	3 420
<b>Elektrocentrála (kWh/rok)</b>	104
<b>Pokrytí spotřeby (kWh/rok)</b>	2 180



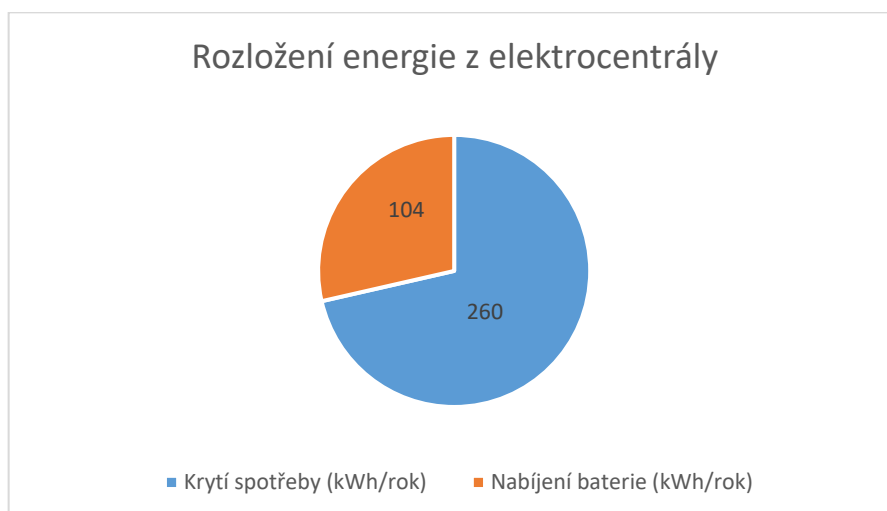
Obr. 23: Krytí spotřeby – FV systém (panely, baterie) a elektrocentrála.

### 3.3.4 Záložní generátor

Elektrocentrála vyrobí 363 kWh/rok, z toho zhruba 28 % energie bude dobíjet bateriové úložiště a zbytek bude pokrývat okamžitou spotřebu RD. Celková roční spotřeba paliva odpovídá přibližně 154 l/rok.

Tab. 6: Rozložení energie z elektrocentrály.

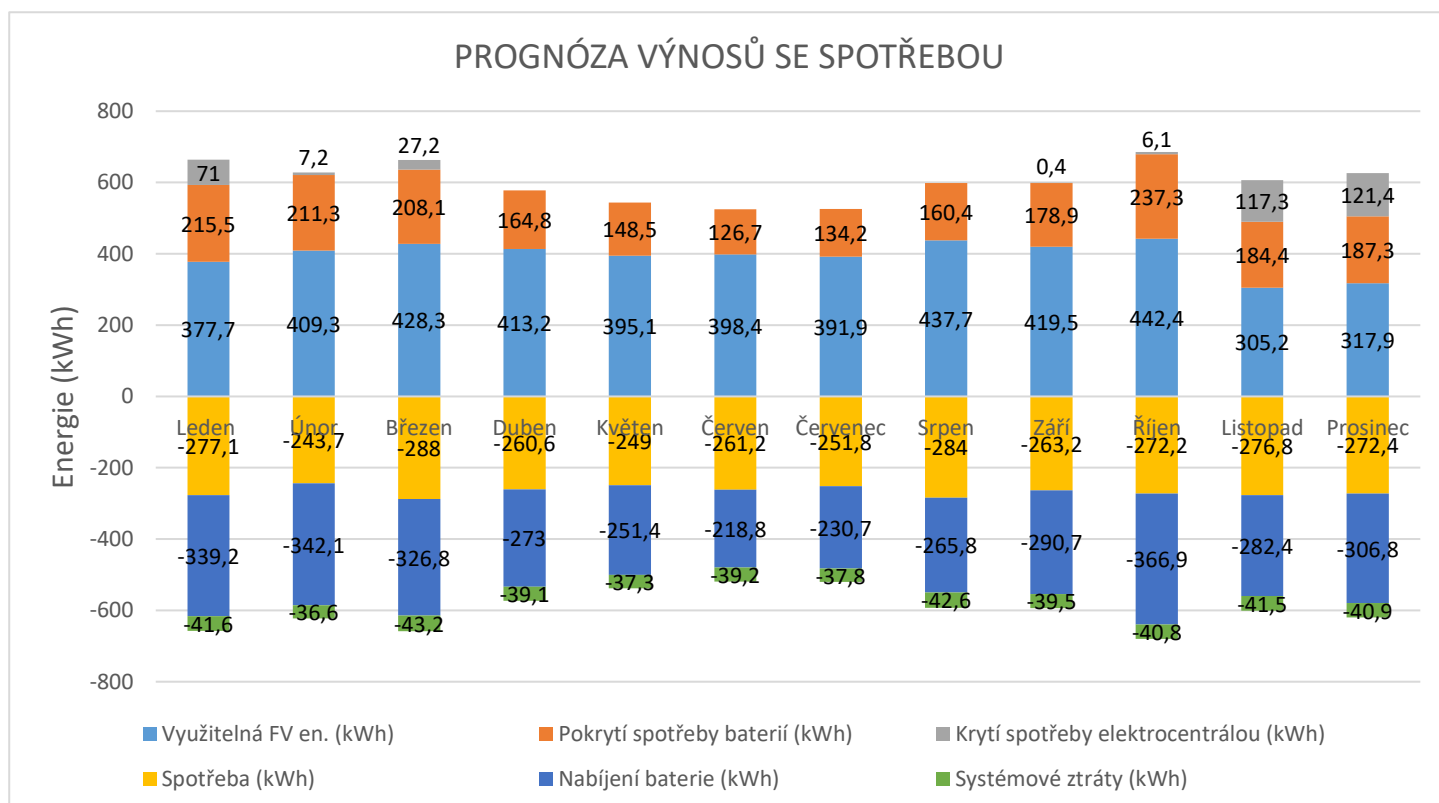
<b>Energie elektrocentrály (kWh/rok):</b>	363
<b>Krytí spotřeby (kWh/rok):</b>	260
<b>Nabíjení baterie (kWh/rok):</b>	104
<b>Spotřeba paliva (l/rok):</b>	154



Obr. 24: Rozložení vyrobené elektrické energie z elektrocentrály.

### 3.3.5 Prognóza výnosů se spotřebou

Obr. 25 znázorňuje prognózu výnosů se spotřebou v jednotlivých měsících.



Obr. 25: Prognóza výnosů se spotřebou.

Při analýze výroby elektřiny z fotovoltaického systému v průběhu roku byly identifikovány opakující se trendy. V jarních a letních měsících je spotřeba vykrývána pouze energií získanou ze slunečního záření. V zimním a podzimním období už systému dodává energii navíc záložní generátor. Většina fotovoltaické energie je využita k dobíjení bateriového úložiště.

Díky kombinaci fotovoltaického systému a záložního generátoru (elektrocentrály) je zajištěna kontinuální dodávka elektrické energie pro daného spotřebitele i v zimních měsících. Tato kombinace zdrojů umožňuje minimalizovat ztráty energie a maximalizovat využití obnovitelných zdrojů.

## 4 Ekonomické zhodnocení navrženého řešení

### 4.1 Stanovení doby životnosti FVE

#### 4.1.1 FV panely

Výrobce FV panelů Trina Vertex S 400 Wp zaručuje výkon s nejnižší degradací na 25 let. Celková uvažovaná doba provozu fotovoltaických panelů je stanovena na 30 let.

#### 4.1.2 Bateriové úložiště

Výrobce akumulátorů Pylontech US3000C zaručuje jejich životnost minimálně na 15 let a dále zaručuje 6000 cyklů při teplotě 25 °C. Za předpokladu dobrého zacházení s bateriovým úložištěm (maximální hloubka vybití na 40 % celkové kapacity) a udržování úložiště přibližně při teplotě blízké se 25 °C lze stanovit celkovou uvažovanou dobu provozu bateriového úložiště na 20 let.

#### 4.1.3 Střídač

Celková uvažovaná doba životnosti střídačů je stanovena na 10 let. Jedná se o hrubý odhad.

#### 4.1.4 Životnost celého systému

Životnost celého ostrovního systému je stanovena jako aritmetický průměr odhadovaných dob životnosti FV panelů (30 let), bateriového úložiště (20 let) a střídačů (10 let). Odhadová doba životnosti celého systému tedy vychází na 20 let. Jedná se však o velmi hrubý odhad.

### 4.2 Investiční náklady

V investičních nákladech projektu je zahrnuta cena všech komponentů, tzn. FV panely, baterie, střídače, elektrocentrála, automatická přepínací jednotka ATS. Dále jsou do těchto nákladů započítány náklady na konstrukci pro FV panely, která se skládá ze střešních háků a lišt. Dále investiční náklady zahrnují elektrické ochrany – přepět'ové ochrany DC, přepět'ové ochrany AC, pojistkové odpínače a jističe - a rovněž kabely – solární kabel, bateriový kabel, kabel CYKY.

Do investičních nákladů jsou zahrnuty i služby, jako jsou projekční a stavební práce se vstupní revizí fotovoltaického systému.

Dle tabulky 7 jsou celkové investiční náklady navrženého řešení zhruba 1 375 000 Kč včetně DPH.

Tab. 7: Investiční náklady projektu.

Komponent	Typ	počet (ks)	cena/ks (Kč)	cena (Kč)
FV panel	Trina Vertex S 400 Wp	57	4 496	256292,52
Střídač	InfiniSolar 10 kW	2	88 095	176190,52
Baterie	Pylontech US3000C	8	53 978	431824,8
Elektrocentrála	HERON LPGG	1	36 990	36 990
ATS	TA753	1	4 490	4490,31
Střešní háky	VARIO	285	155	44140,8
Přepěťová ochrana DC	SLP PV - 1000V/Y	4	2 851	11403,04
Přepěťová ochrana AC	DA - 275 V/ 3+1	2	3 972	7944,86
Pojistkový odpínač FVE	OEZ OPVP22 - 2	4	761	3044,36
Pojistkový odpínač BAT	ETI EFD - 22 1p	4	440	1761,76
Jistič 20A - B/3	EATON PL7 - B20/3	2	708	1415,7
Jistič 16A - B/3	EATON PL6 - B16/3	2	375	750,2
Komponent	Typ	délka (m)	cena/metr (Kč)	cena (Kč)
Solární kabel 4 mm <sup>2</sup>	H1Z2Z2 - K 4	300	30,25	9075
Bateriový kabel CYA 95 mm <sup>2</sup>	CYA H07V - K 95	5	389,62	1948,1
Hliníkový profil (lišta)	Al profil 40x40 mm	190	199,65	37933,5
Kabel CYKY 5x4 mm <sup>2</sup>	CYKY-J 5x4	10	89,54	895,4
Kabel CYKY 4x4 mm <sup>2</sup>	CYKY-J 4x4	10	68,97	689,7
Služba	Typ	-	-	-
Projekční činnost	kompletní PD	-	-	15000
Montážní práce	veškeré montážní práce	-	-	330000
Revize	elektro	-	-	3000
<b>CELKEM</b>	-	-	-	<b>1374790,27</b>

### 4.3 Provozní náklady

#### 4.3.1 Spotřeba paliva elektrocentrály

Provozní náklady systému budou složeny zejména z nákladů na palivo pro elektrocentrálu a nákladů na údržbu. Z výsledků simulace je spotřeba paliva známá, a to 154 l/rok. Zvolená elektrocentrála může spalovat benzín nebo LPG. Jako palivo se bude používat LPG z důvodu jeho výrazně nižší ceny. Aktuální cena LPG (k 15.4.2023) je zhruba 15 Kč včetně DPH za litr, čemuž odpovídají provozní náklady 2 310 Kč včetně DPH za rok.

#### 4.4 Dlouhodobý vývoj ceny elektrické energie a LPG

Dlouhodobý vývoj ceny elektrické energie a LPG je velmi obtížné předvídat. Inflační cíl ČNB má od roku 2010 podobu meziročního přírůstku spotřebitelských cen ve výši 2 %. Přestože ČNB usiluje o to, aby se inflace nacházela na hodnotě 2 %, skutečná inflace se od inflačního cíle odchyluje, a to především v důsledku nepředvídatelných šoků, které

ekonomiku průběžně zasahují. Přirozenou kolísavost inflace zachycuje toleranční pásmo o šíři jednoho procentního bodu. Na základě toho bude uvažován roční nárůst ceny elektrické energie a LPG spíše o 3 %. [14]

### 4.5 Roční úspora

Aktuální cena elektrické energie (k 13.4.2023) se pohybuje zhruba okolo 7,8 Kč včetně DPH za 1 kWh. V případě, že by objekt RD odebíral elektrickou energii pouze z distribuční sítě, celkové náklady na elektrickou energii by činily zhruba 24 960 Kč vč. DPH za rok při spotřebě 3 200 kWh/rok.

Roční úspora je vypočítána z rozdílu nákladů na elektrickou energii v případě odběru z distribuční sítě a provozních nákladů (nákladů na LPG). V tomto případě činí úspora pro první rok provozu přibližně 22 650 Kč vč. DPH za rok.

### 4.6 Výpočet čisté současné hodnoty (NPV)

Čistá současná hodnota se používá jako kritérium pro hodnocení výnosnosti investičních projektů. Hlavní předností metody NPV je zohlednění faktoru času. Výsledek NPV je finanční veličina vyjadřující celkovou současnou (diskontovanou) hodnotu všech peněžních toků souvisejících s investičním projektem.

V následujících bodech je uveden výpočet NPV pro dvě odlišné varianty. První varianta NPV bude počítána pro daný navržený ostrovní systém, který zohledňuje pouze úsporu peněz za elektrickou energii. Druhá varianta NPV bude počítána pro navržený systém, ale v hybridním režimu, ve kterém by byly přebytky vyrobené energie prodávány do distribuční sítě za určitou výkupní cenu, za niž by se vyplatilo daný systém provozovat. NPV pro hybridní systém zohledňuje jak úsporu za elektrickou energii, tak výnosy z prodeje elektrické energie do distribuční sítě (DS).

Čistá současná hodnota byla vypočítána pomocí funkce „ČISTÁ.SOUČHODNOTA“ ve výpočetním programu Microsoft Excel. Sazba byla stanovena na 3 %.

#### 4.6.1 Ostrovní systém – úspora za elektřinu

V tabulce 8 jsou uvedeny provozní náklady, úspora za elektřinu a celková úspora daná rozdílem úspory za elektřinu a provozních nákladů v časovém horizontu 20 let.

Jak je patrné z výsledků v tabulce 8, čistá současná hodnota NPV jde značně do záporných hodnot. S jistotou lze konstatovat, že takovýto ostrovní systém je z investičního a finančního hlediska extrémně nevýhodný.

Tab. 8: Výpočet NPV – ostrovní systém.

rok	provozní náklady (Kč)	úspora za elektřinu (Kč)	úspora celková (Kč)
1	2310,00	24960,00	22650,00
2	2379,30	25708,80	23329,50
3	2450,68	26480,06	24029,39
4	2524,20	27274,47	24750,27
5	2599,93	28092,70	25492,77
6	2677,92	28935,48	26257,56
7	2758,26	29803,55	27045,28
8	2841,01	30697,65	27856,64
9	2926,24	31618,58	28692,34
10	3014,03	32567,14	29553,11
11	3104,45	33544,15	30439,71
12	3197,58	34550,48	31352,90
13	3293,51	35586,99	32293,48
14	3392,31	36654,60	33262,29
15	3494,08	37754,24	34260,16
16	3598,90	38886,87	35287,96
17	3706,87	40053,47	36346,60
18	3818,08	41255,08	37437,00
19	3932,62	42492,73	38560,11
20	4050,60	43767,51	39716,91
<b>NPV</b>		<b>-907 955,51 Kč</b>	

#### 4.6.2 Hybridní systém – úspora za elektřinu a prodej přebytků do DS

Hybridní systém je napojený na distribuční síť, tudíž umožňuje FV systému prodávat přebytečnou energii do sítě a tím generovat zisk.

V následující tabulce 9 je uvedena celková roční přebytečná energie navrženého řešení, která je určena z rozdílu roční maximální možné FV energie (19 138 kWh) a roční využitelné FV energie (4 730 kWh). Uvažovaná hodnota ztrát systému je stanovena na 15 %. Dále je v tabulce uvedena cena 1 kWh energie, za kterou by bylo třeba prodávat přebytečnou energii do sítě, aby bylo navržené řešení ekonomicky výhodné.

Tab. 9: Prodej přebytků do DS – nastavené hodnoty pro výpočet NPV.

<b>Přebytky el. en.:</b>	<b>12 240 kWh/rok</b>
<b>Výkupní cena el. en.:</b>	<b>4,40 Kč</b>

V tabulce 10 jsou uvedeny provozní náklady, úspora za elektřinu, celková úspora a navíc i výnosy z prodeje přebytečné elektrické energie do distribuční sítě. Zisk je zde uveden jako součet celkové úspory a výnosu z prodeje elektřiny.

Tab. 10: Výpočet NPV – hybridní systém.

rok	provozní náklady (Kč)	úspora za elektřinu (Kč)	úspora celková (Kč)	výnos z prodeje elektřiny (Kč)	zisk (Kč)
1	2310,00	24960,00	22650,00	53856,00	76506,00
2	2379,30	25708,80	23329,50	54933,12	78262,62
3	2450,68	26480,06	24029,39	56031,78	80061,17
4	2524,20	27274,47	24750,27	57152,42	81902,68
5	2599,93	28092,70	25492,77	58295,47	83788,24
6	2677,92	28935,48	26257,56	59461,38	85718,93
7	2758,26	29803,55	27045,28	60650,60	87695,89
8	2841,01	30697,65	27856,64	61863,62	89720,26
9	2926,24	31618,58	28692,34	63100,89	91793,23
10	3014,03	32567,14	29553,11	64362,91	93916,02
11	3104,45	33544,15	30439,71	65650,16	96089,87
12	3197,58	34550,48	31352,90	66963,17	98316,06
13	3293,51	35586,99	32293,48	68302,43	100595,91
14	3392,31	36654,60	33262,29	69668,48	102930,77
15	3494,08	37754,24	34260,16	71061,85	105322,01
16	3598,90	38886,87	35287,96	72483,09	107771,05
17	3706,87	40053,47	36346,60	73932,75	110279,35
18	3818,08	41255,08	37437,00	75411,40	112848,40
19	3932,62	42492,73	38560,11	76919,63	115479,74
20	4050,60	43767,51	39716,91	78458,02	118174,93
<b>NPV</b>			<b>18 926,93 Kč</b>		



#### **4.7 Dotace Nová Zelená Úsporám (NZÚ)**

V tomto konkrétním případě navrhovaného řešení nejsou splněny podmínky pro získání dotace Nová zelená úsporám (NZÚ). Důvodem je, že maximální podporovaný instalovaný výkon fotovoltaického systému musí být omezen na maximálně 10 kWp, i když systém není připojen k distribuční soustavě.

### Zhodnocení a závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout fotovoltaický (FV) systém pracující v ostrovním režimu, a to pro konkrétní objekt. Navržený fotovoltaický systém disponuje celkovým instalovaným výkonem 22,8 kWp, sklon fotovoltaických panelů činí 45° vůči zemi. Fotovoltaická výroba je pro co nejflexibilnější využití solární energie rozdělena na tři části – jižně orientovaná s instalovaným výkonem 13,2 kWp, východně orientovaná s instalovaným výkonem 4,8 kWp a západně orientovaná s instalovaným výkonem 4,8 kWp. Pro akumulaci elektrické energie bylo navrženo bateriové úložiště o celkové kapacitě 28,4 kWh s tím, že je zde respektována určitá míra hloubky vybití baterie a dále doba autonomie systému. Systém byl doplněn záložním zdrojem elektrické energie, který zaručuje nepřetržitost dodávky elektrické energie v případě nedostatku energie z fotovoltaické výroby či bateriového úložiště.

V rámci ověření funkčnosti navrženého fotovoltaického systému byla provedena simulace pomocí profesionálního softwaru. Z výsledků je patrné, že navržený systém dokáže uspokojovat energetické potřeby daného objektu po celý rok. V zimním období se však projevuje dopomoc energetické dodávky záložním generátorem. Roční spotřeba záložního generátoru činí zhruba 360 kWh, což by odpovídalo zhruba 1,5měsíční spotřebě daného modelového objektu, který disponuje spotřebou 3200 kWh/rok. V rámci simulace byla mimo jiné provedena analýza zastínění fotovoltaických modulů, na jejímž základě byly v rámci možností a navržené technologie rozděleny fotovoltaické stringy.

Samotný navržený systém disponuje vlastní spotřebou, která se skládá zejména ze ztrát na kabelech a spotřeby střídačů. Celková vlastní roční spotřeba systému činí zhruba 550 kWh.

Ekonomické zhodnocení bylo posuzováno dle kritéria čisté současné hodnoty NPV v časovém horizontu 20 let. Vzhledem k velmi vysokým investičním nákladům, které činí zhruba 1 375 000 Kč vč. DPH, vykazuje NPV velmi záporné hodnoty, a z toho důvodu je toto navržené řešení z investičního a finančního hlediska velmi nevýhodné. Pro srovnání byl rovněž proveden výpočet NPV pro variantní řešení, tj. napojení systému na distribuční síť a možnost prodeje přebytků elektrické energie. Z výsledků vyplývá, že by provozovatel systému musel prodávat přebytky elektrické energie za 4,40 Kč vč. DPH. Prodávat elektrickou energii z FVE za tak vysokou cenu je však v dnešní době téměř nereálné.

## Literatura

- [1] **Labouret, Anne a Viloz, Michel.** *Solar Photovoltaic Energy*. Paris : Dunod, 2009. *Solar Photovoltaic Energy*. Paris : Dunod, 2009. ISBN 978-1-84919-155-5.
- [2] **Almerini, Ana.** 2022. What is a hybrid solar system? *SolarReviews*. [Online] 12 Zář 2022. [Cited: 17 Listopad 2022.] <https://www.solarreviews.com/blog/hybrid-solar-systems>.
- [3] **2021.** Nemakej. *nemakej.cz*. [Online] 30. Srpen 2021. [Citace: 17. Listopad 2022.] <https://www.nemakej.cz/jak-funguje-hybridni-solarni-elektrarna-o551>.
- [4] *Typové diagramy dodávek (TDD): Proč kalkulačky počítají „špatně“?* [online]. [cit. 17. Listopad 2022]. Dostupné z: <https://www.cenyenergie.cz/typove-diagramy-dodavek-tdd-internetove-kalkulacky-vyuctovani/#/promo-ele-mini>
- [5] **Mohanty, Parimita, a další.** 2016. *PV System Design for Off-Grid Applications*. místo neznámé : Springer International Publishing Switzerland, 2016.
- [6] *Vliv sklonu a orientace* [online]. [cit. 17. Listopad 2022]. Dostupné z: <https://fotovoltaika.ekowatt.cz/vliv-sklonu-orientace.php>
- [7] *Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů* [online]. [cit. 17. Listopad 2022]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>
- [8] **Ghafoor, Abdul a Munir, Anjum.** 2014. *Design and economics analysis of an off-grid PV system for household electrification*. Faisalabad : Elsevier Ltd., 2014.
- [9] **Akinsipe, Olusola Charles, Moya, Diego and Kaparaju, Prasad.** 2020. *Design and economic analysis of off-grid solar PV system in Jos-Nigeria*. 2020.
- [10] *Návratnost fotovoltaiky: kdy se vám ušetří statisíce a kdy se naopak nevyplatí?* [online]. [cit. 17. Listopad 2022]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/21585-navratnost-fotovoltaiky-kdy-vam-usetri-statisice-a-kdy-se-naopak-nevyplati>

- [11] **Tisdale, J. & Dennison, J.R. 2018.** *Solar Photovoltaic Basics: A Study Guide for the NABCEP Entry Level Exam.* místo neznámé : Routledge, 2018.
- [12] **Gowdy, J.A., & Feijóo, A.E. 2017.** *Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Solar Energy Systems.* místo neznámé : CRC Press, 2017.
- [13] *Inflační cíl* [online]. [10.4.2022]. Dostupné z:  
<https://www.cnb.cz/cs/menova-politika/inflacni-cil/>

## Seznam obrázků

<i>Obr. 1: Zjednodušené blokové schéma FV systému připojeného přímo k distribuční síti. [autor] .....</i>	<i>- 13 -</i>
<i>Obr. 2: Zjednodušené blokové schéma hybridního systému. [autor].....</i>	<i>- 14 -</i>
<i>Obr. 3: Zjednodušené blokové schéma ostrovního FV systému. [autor].....</i>	<i>- 16 -</i>
<i>Obr. 4: Výstup PWM regulátoru při plném otevření – reprezentuje výstup z FV panelu. ....</i>	<i>- 18 -</i>
<i>Obr. 5: Výstup PWM regulátoru při poměrném sepnutí 75 %. Střední hodnota vyznačená červeně. ....</i>	<i>- 19 -</i>
<i>Obr. 6: Body maximálního bodu výkonu (MPP) při různém ozáření a teplotě.....</i>	<i>- 20 -</i>
<i>Obr. 7: Celkové dopadající globální záření během roku – rozložené do jednotlivých měsíců (střední Čechy). ...</i>	<i>- 23 -</i>
<i>Obr. 8: Výnos energie v závislosti na sklonu a orientaci panelu. [8].....</i>	<i>- 24 -</i>
<i>Obr. 9: Modelový objekt – rodinný dům (RD). [autor].....</i>	<i>- 30 -</i>
<i>Obr. 10: Letecká fotografie modelového objektu – reálná situace. [zdroj: www.mapy.cz].....</i>	<i>- 31 -</i>
<i>Obr. 11: Průměrné denní globální záření pro každý měsíc v roce – vodorovná plocha. ....</i>	<i>- 32 -</i>
<i>Obr. 12: Průměrné denní globální záření pro každý měsíc v roce – sklon 45°. ....</i>	<i>- 32 -</i>
<i>Obr. 13: Rozměry instalačních ploch modelového objektu. [autor].....</i>	<i>- 34 -</i>
<i>Obr. 14: Spotřeba elektrické energie modelového objektu rozložená do jednotlivých měsíců.....</i>	<i>- 34 -</i>
<i>Obr. 15: Průměrná denní spotřeba el. en. modelového objektu rozložená do jednotlivých měsíců. ....</i>	<i>- 35 -</i>
<i>Obr. 16: Vizualizace situace v PV*SOL – napodobení reálných podmínek (dle obr. 7) -1. ....</i>	<i>- 43 -</i>
<i>Obr. 17: Vizualizace situace v PV*SOL - napodobení reálných podmínek (dle obr. 7) - 2. ....</i>	<i>- 43 -</i>
<i>Obr. 18: Zastínění jižně orientovaných modulů. ....</i>	<i>- 45 -</i>
<i>Obr. 19: Zastínění západně orientovaných modulů. ....</i>	<i>- 46 -</i>
<i>Obr. 20: Zastínění východně orientovaných modulů. ....</i>	<i>- 46 -</i>
<i>Obr. 21: Rozložení využitelné FV energie – výsledek simulace. ....</i>	<i>- 47 -</i>
<i>Obr. 22: Celková spotřeba el. energie – pokrývání odběru jednotlivými zdroji. ....</i>	<i>- 48 -</i>
<i>Obr. 23: Krytí spotřeby – FV systém (panely, baterie) a elektrocentrála. ....</i>	<i>- 49 -</i>
<i>Obr. 24: Rozložení vyrobené elektrické energie z elektrocentrály. ....</i>	<i>- 50 -</i>
<i>Obr. 25: Prognóza výnosů se spotřebou. ....</i>	<i>- 50 -</i>

## **Seznam příloh**

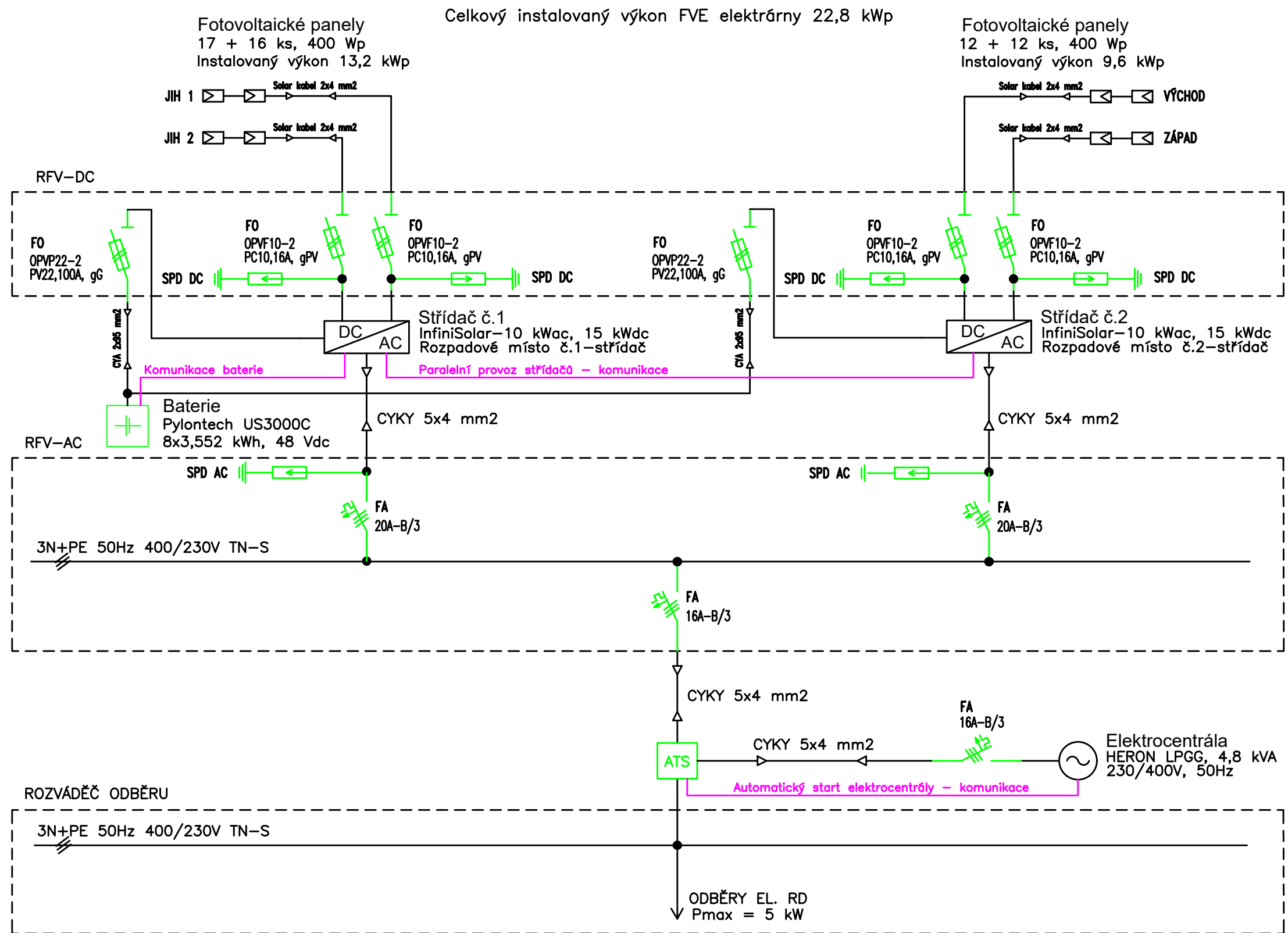
Příloha 1: Jednopolové schéma zapojení FVE

Příloha 2: Přehledové schéma FVE

Příloha 3: Katalogový list fotovoltaického panelu TRINA VERTEX S 400 Wp

Příloha 4: Katalogový list střídače Infinisolar 10 kW

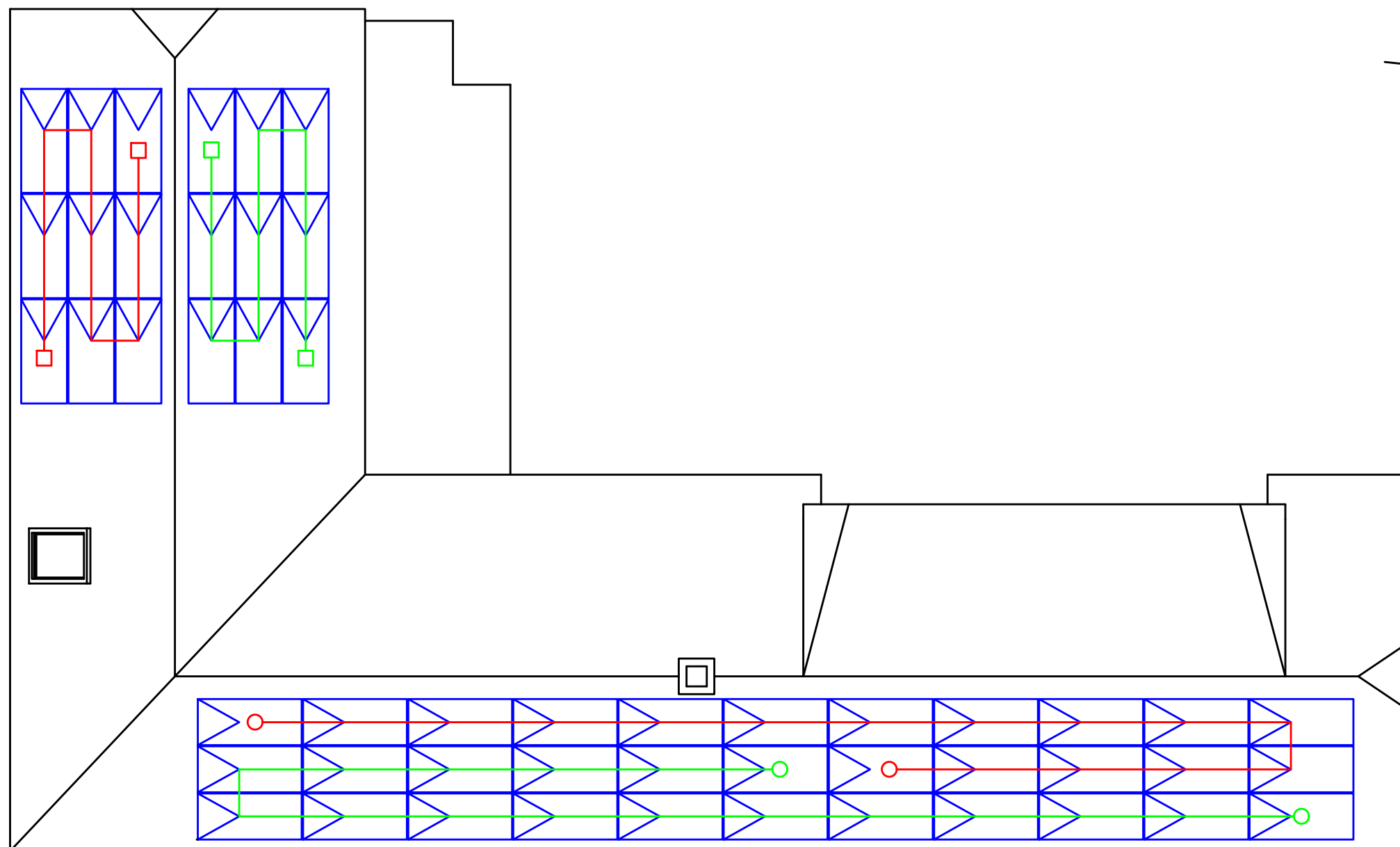
Příloha 5: Katalogový list baterie US3000C



**TECHNOLOGIE:**

FV panely: Trina Vertex S, 400Wp, 57 ks  
 Střídač: InfiniSolar 10kW, 2 ks  
 Baterie: Pylontech US3000, 8 ks

ZODP. PROJEKTANT	VYPRACOVAL	
Bc. Michal Staněk	Bc. Michal Staněk	
INVESTOR	-	
MÍSTO STAVBY	-	
AKCE:	FVE v ostrovním režimu 22,8 kWp Akumulace 28,4 kWh	DATUM 3/2023
		STUPEŇ -
		MĚŘITKO -
	FVE - jednopólové schéma zapojení	ČÍSLO VÝKRESU DP1



**LEGENDA:**

- Střídač č. 1, MPPT1
- Střídač č. 1, MPPT2
- Střídač č. 2, MPPT1
- Střídač č. 2, MPPT2

**TECHNOLOGIE:**

FV panely: Trina Vertex S, 400Wp, 57 ks  
 Střídač: InfiniSolar 10kW, 2 ks  
 Baterie: Pylontech US3000, 8 ks

ZODP. PROJEKTANT		VYPRACOVAL	
Bc. Michal Staněk		Bc. Michal Staněk	
INVESTOR	-		
MÍSTO STAVBY	-		
AKCE:	FVE v ostrovním režimu 22,8 kWp Akumulace 28,4 kWh	DATUM	3/2023
		STUPEŇ	-
		MĚŘITKO	-
FVE - přehledové schéma		ČÍSLO VÝKRESU	DP2



Preliminary

Mono Multi Solutions

# Vertex S

BACKSHEET MONOCRYSTALLINE MODULE

PRODUCT: TSM-DE09.08

PRODUCT RANGE: 390-405W

## 405W+

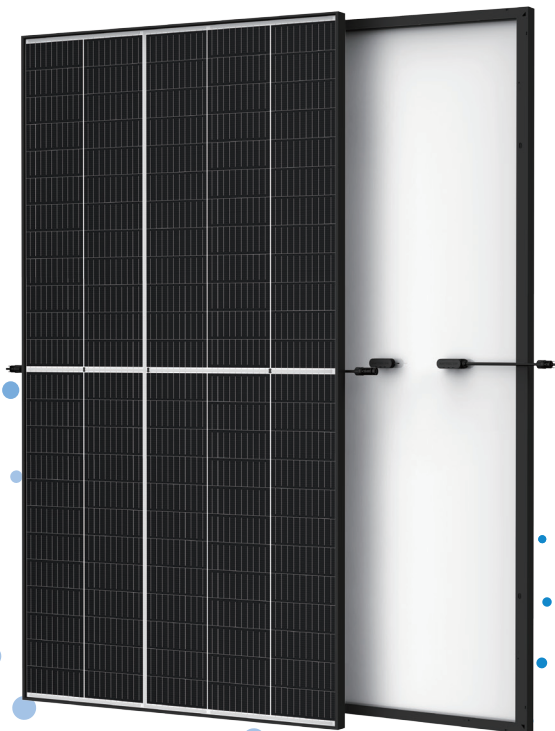
MAXIMUM POWER OUTPUT

## 0~+5W

POSITIVE POWER TOLERANCE

## 21.1%

MAXIMUM EFFICIENCY



### Small in size, big on power

- Small form factor. Generate a huge amount of energy even in limited space. Up to 405W, 21.1% module efficiency with high density interconnect technology
- Multi-busbar technology for better light trapping effect, lower series resistance and improved current collection
- Reduce installation cost with higher power bin and efficiency
- Boost performance in warm weather with lower temperature coefficient (-0.34%) and operating temperature



### Universal solution for residential and C&I rooftops

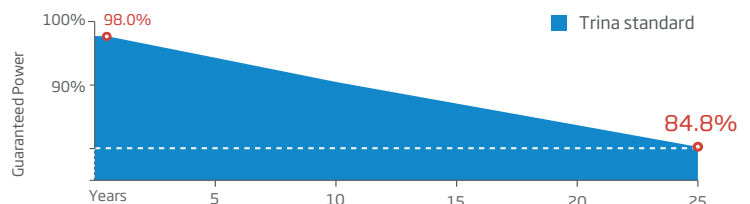
- Designed for compatibility with existing mainstream optimizers, inverters and mounting systems
- Perfect size and low weight. Easy for handling. Economy for transporting
- Diverse installation solutions. Flexible for system deployment



### High Reliability

- 15 year product warranty
- 25 year performance warranty with lowest degradation;
- Ensured PID resistance through cell process and module material control
- Mechanical performance up to 6000 Pa positive load and 4000 Pa negative load

### Trina Solar's Backsheet Performance Warranty



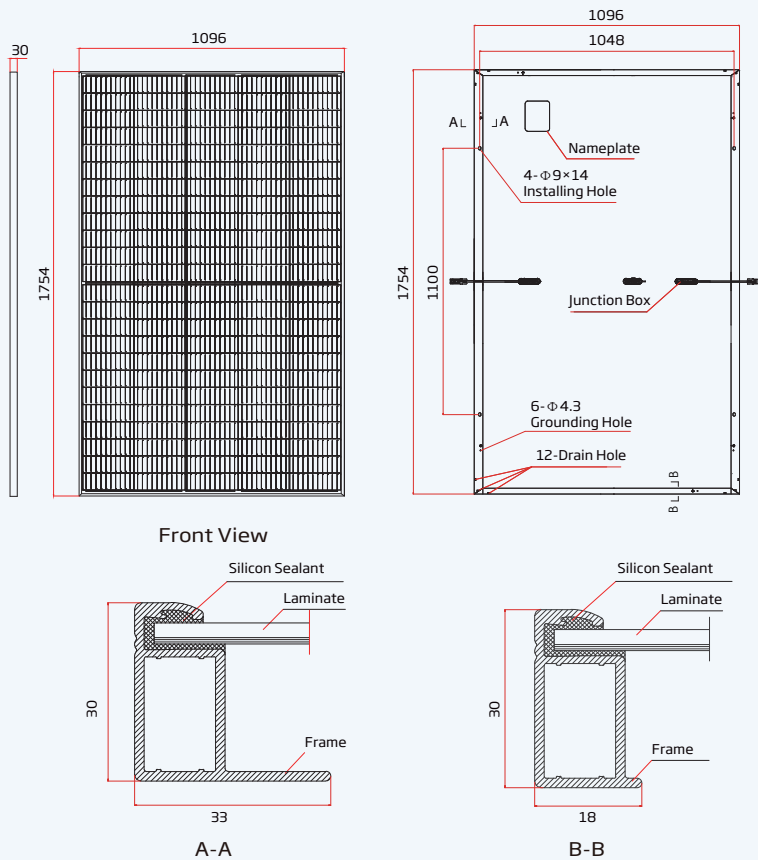
### Comprehensive Products and System Certificates



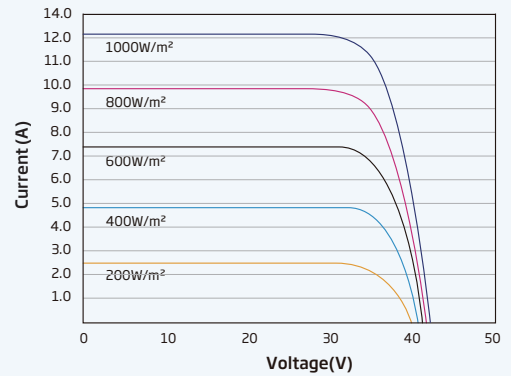
IEC61215/IEC61730/IEC61701/IEC62716  
 ISO 9001: Quality Management System  
 ISO 14001: Environmental Management System  
 ISO14064: Greenhouse Gases Emissions Verification  
 ISO45001: Occupational Health and Safety Management System



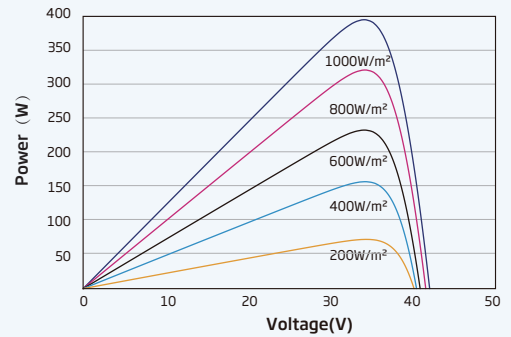
## DIMENSIONS OF PV MODULE(mm)



## I-V CURVES OF PV MODULE(395 W)



## P-V CURVES OF PV MODULE(395W)



## ELECTRICAL DATA (STC)

Parameter	390	395	400	405
Peak Power Watts-P <sub>MAX</sub> (Wp)*	390	395	400	405
Power Tolerance-P <sub>MAX</sub> (W)	0 ~ +5			
Maximum Power Voltage-V <sub>MPP</sub> (V)	33.8	34.0	34.2	34.4
Maximum Power Current-I <sub>MPP</sub> (A)	11.54	11.62	11.70	11.77
Open Circuit Voltage-V <sub>OC</sub> (V)	40.8	41.0	41.2	41.4
Short Circuit Current-I <sub>SC</sub> (A)	12.14	12.21	12.28	12.34
Module Efficiency η <sub>m</sub> (%)	20.3	20.5	20.8	21.1

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

## ELECTRICAL DATA (NOCT)

Parameter	295	298	302	306
Maximum Power-P <sub>MAX</sub> (Wp)	295	298	302	306
Maximum Power Voltage-V <sub>MPP</sub> (V)	31.8	32.0	32.2	32.5
Maximum Power Current-I <sub>MPP</sub> (A)	9.26	9.32	9.38	9.41
Open Circuit Voltage-V <sub>OC</sub> (V)	38.4	38.6	38.8	38.9
Short Circuit Current-I <sub>SC</sub> (A)	9.78	9.84	9.90	9.95

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

## MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
No. of cells	120 cells
Module Dimensions	1754×1096×30 mm (69.06×43.15×1.18 inches)
Weight	21.0 kg (46.3 lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant material	EVA/POE
Backsheet	White
Frame	30mm(1.18 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm <sup>2</sup> (0.006 inches <sup>2</sup> ), Portrait: 280/280 mm(11.02/11.02 inches) Landscape: 1100/1100 mm(43.31/43.31 inches)
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 <sub>MAX</sub>	-0.34%/°C
Temperature Coefficient of V <sub>OC</sub>	-0.25%/°C
Temperature Coefficient of I <sub>SC</sub>	0.04%/°C

## MAXIMUM RATINGS

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

## WARRANTY

15 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: 36 pieces  
Modules per 40' container: 936 pieces

## Střídač s akumulací energie

# InfiniSolar síťový střídač s možností akumulace energie



- Vlastní spotřeba nebo i dodávka do sítě
- Čistá sinusovka
- Programovatelná priorita napájení z fotovoltaiky, baterie nebo sítě
- Nastavitelný nabíjecí proud pro různé typy baterií
- Programovatelné provozní režimy: připojený k síti, ostrovní, síťový zálohovaný
- Vestavěný časovač pro zapínání / vypínání provozních režimů
- Komunikace přes USB, RS-232, Modbus a SNMP
- Monitorovací software pro zobrazení stavu a ovládaní
- Paralelní provoz až 6-ti jednotek 4KW, 5KW a 10KW

MODEL	InfiniSolar Plus 3KW	InfiniSolar Super 4KW	InfiniSolar Plus 5KW	InfiniSolar 10KW
Fáze	1-fázový vstup / 1-fázový výstup			3-fázový vstup / 3-fázový výstup
Maximální vstupní výkon z FV modulů	4500 W	5000 W	10000 W	15000 W
Jmenovitý výstupní výkon	3000 W	4000 W	5000 W	10000 W
Maximální nabíjecí výkon	1200 W	4000 W	4800 W	9600 W
<b>SÍŤOVÝ PROVOZ</b>				
<b>FV VSTUP (DC)</b>				
Jmenovité DC napětí / maximální DC napětí	360 V <sub>DC</sub> / 500 V <sub>DC</sub>	360 V <sub>DC</sub> / 580 V <sub>DC</sub>	720 V <sub>DC</sub> / 900 V <sub>DC</sub>	
Startovní napětí / počáteční napětí dodávky	116 V <sub>DC</sub> / 150 V <sub>DC</sub>			320 V <sub>DC</sub> / 350 V <sub>DC</sub>
MPP rozsah napětí150	250 V <sub>DC</sub> ~ 450 V <sub>DC</sub>	280 V <sub>DC</sub> ~ 500 V <sub>DC</sub>	250 V <sub>DC</sub> ~ 850 V <sub>DC</sub>	400 V <sub>DC</sub> ~ 800 V <sub>DC</sub>
Počet MPP sledovačů / max. vstupní proud	1 / 1 x 18 A	1 / 1 x 18 A	2 / 2 x 10 A	2 / 2 x 18,6 A
<b>SÍŤOVÝ VÝSTUP (AC)</b>				
Jmenovité výstupní napětí	230 V <sub>AC</sub>			3/N/PE 230/400 V <sub>AC</sub>
Rozsah výstupního napětí	184 - 265 V <sub>AC</sub>			184 - 265 V <sub>AC</sub> na fázi
Jmenovitý výstupní proud	13 A	17,5 A	21 A	14,5 A na fázi
Účinnost	> 0.99			
<b>ÚČINNOST</b>				
Maximální účinnost (z DC do AC)	96%			
EU účinnost při jmenovitém napětí	95%			
MPPT účinnost přizpůsobení (%)	99%			
<b>OSTROVNÍ PROVOZ</b>				
<b>AC VSTUP</b>				
AC startovní napětí / auto restart napětí	120 - 140 V <sub>AC</sub> / 180 V <sub>AC</sub>			120 - 140 V <sub>AC</sub> fáze / 185 V <sub>AC</sub> na fázi
Přípustný rozsah vstupního napětí	170 - 280 V <sub>AC</sub>			170 - 280 V <sub>AC</sub> na fázi
Maximální vstupní AC proud	30 A	40 A		
<b>FV VSTUP (DC)</b>				
Maximální DC napětí	500 V <sub>DC</sub>	580 V <sub>DC</sub>	900 V <sub>DC</sub>	
MPP rozsah napětí	250 V <sub>DC</sub> ~ 450 V <sub>DC</sub>	280 V <sub>DC</sub> ~ 500 V <sub>DC</sub>	250 V <sub>DC</sub> ~ 850 V <sub>DC</sub>	400 V <sub>DC</sub> ~ 800 V <sub>DC</sub>
Počet MPP sledovačů / max. vstupní proud	1 / 1 x 18 A	1 / 1 x 18 A	2 / 2 x 10 A	2 / 2 x 18,6 A
<b>BATERIOVÝ REŽIM VÝSTUP (AC)</b>				
Jmenovité výstupní napětí	230 V <sub>AC</sub>			
Tvar vlny	čistá sinusovka			
Účinnost (z DC do AC)	93%	91%	93%	92%
<b>HYBRIDNÍ PROVOZ</b>				
<b>FV VSTUP (DC)</b>				
Jmenovité DC napětí / maximální DC napětí	360 V <sub>DC</sub> / 500 V <sub>DC</sub>	360 V <sub>DC</sub> / 580 V <sub>DC</sub>	720 V <sub>DC</sub> / 900 V <sub>DC</sub>	
Startovní napětí / počáteční napětí dodávky	116 V <sub>DC</sub> / 150 V <sub>DC</sub>			320 V <sub>DC</sub> / 350 V <sub>DC</sub>
MPP rozsah napětí	250 V <sub>DC</sub> ~ 450 V <sub>DC</sub>	280 V <sub>DC</sub> ~ 500 V <sub>DC</sub>	250 V <sub>DC</sub> ~ 850 V <sub>DC</sub>	400 V <sub>DC</sub> ~ 800 V <sub>DC</sub>
Počet MPP sledovačů / max. vstupní proud	1 / 1 x 18 A	1 / 1 x 18 A	2 / 2 x 10 A	2 / 2 x 18,6 A
<b>SÍŤOVÝ VÝSTUP (AC)</b>				
Jmenovité výstupní napětí	230 V <sub>AC</sub>			3/N/PE 230/400 V <sub>AC</sub>
Rozsah výstupního napětí	184 - 265 V <sub>AC</sub>			184 - 265 V <sub>AC</sub> na fázi
Jmenovitý výstupní proud	13 A	17,5 A	21 A	14,5 A na fázi
<b>AC VSTUP</b>				
AC startovní napětí / auto restart napětí	120 - 140 V <sub>AC</sub> / 180 V <sub>AC</sub>			120 - 140 V <sub>AC</sub> fáze / 185 V <sub>AC</sub> na fázi
Přípustný rozsah vstupního napětí	170 - 280 V <sub>AC</sub>			170 - 280 V <sub>AC</sub> na fázi
Maximální vstupní AC proud	30 A	40 A		
<b>BATERIOVÝ REŽIM VÝSTUP (AC)</b>				
Jmenovité výstupní napětí	230 V <sub>AC</sub>			
Účinnost (z DC do AC)	93%	91%	93%	91%
<b>BATERIE &amp; NABÍJEČKA</b>				
Jmenovité DC napětí	48 V <sub>DC</sub>			
Maximální dobíjecí proud	5 A - 25 A, nastaveno 25 A	80 A	5 A - 100 A, nastaveno 60 A	10 A - 200 A, nastaveno 60 A
<b>VŠEOBECNÉ</b>				
<b>FYZICKÁ DATA</b>				
Rozměry D x Š x V	107 x 438 x 480 mm	117 x 438 x 535 mm	204,2 x 460 x 600 mm	167,5 x 500 x 622 mm
Váha	15,5 kg	16,2 kg	29 kg	45 kg
<b>INTERFACE</b>				
Komunikační port	RS-232/USB	USB/So	RS-232/USB a CAN interface	
Inteligentní vstup	volitelné SNMP, Modbus, AS-400 karty k dispozici			
<b>PRACOVNÍ PROSTŘEDÍ</b>				
Vlhkost vzduchu	0 ~ 90% relativní vlhkost (nekondensující)			
Pracovní teplota	0 ~ 40°C		-10 ~ 55°C	
Nadmořská výška	0 ~ 1000 m (snížení výkonu o 1% na každých 100 m, jestliže je výška přes 1000 m)			

Technické údaje přístrojů podléhají změnám bez předchozího upozornění.



**LOW VOLTAGE ENERGY STORAGE SYSTEM  
-FOR RESIDENTIAL AND SME**

# Pylon Technologies Co., Ltd.

As the leading vertically integrated manufacturer of lithium iron phosphate battery systems, Pylontech has provided various battery solutions for nearly all kinds of ESS applications.

Thanks to our self-developed core technology in cells/BMS/system design, Pylontech has delivered more than 2.0GWH batteries serving 120,000+ users.



## Vertical industry integration chain

---



## Advantage

- Developed with our own LFP (lithium iron phosphate) cell to ensure the highest safety
- Self-designed BMS protects the cell in all angles such as abnormal temperature, current, voltage, SoC, SoH
- Vertical industry integration ensures more than 6000 cycles with 95% DoD
- Modular design gives the end customers the power of choice of capacity
- Compatible with most of the available Hybrid inverters
- Simple buckle fixing minimize the installation time and cost
- Backward compatibility with existing US series product
- Pre-charge function to protect ESS system from surge current



## Specification



Basic Parameters	US2000C	US3000C	Phantom-S
Nominal Voltage (V)	48	48	48
Nominal Capacity (Wh)	2400	3552	2400
Usable Capacity (Wh)	2280	3374.4	2200
Dimension (mm)	442*410*89	442*420*132	440*440*88.5
Weight (Kg)	24	32	24
Discharge Voltage (V)	44.5 ~ 53.5	44.5 ~ 53.5	44.5 ~ 53.5
Charge Voltage (V)	52.5 ~ 53.5	52.5~53.5	52.5~53.5
Charge / Discharge Current (A)	25(Recommend)	37 (Recommend)	25(Recommend)
	50 (Max@60s)	74 (Max@60s)	50 (Max@60s)
	90 (Peak@15s)	90 (Peak@15s)	100 (Peak@15s)
Communication Port	RS485, CAN	RS485, CAN	RS485, CAN
Single string quantity(pcs)	16	16	8
Working Temperature/°C	0~50	0~50	0~50
Shelf Temperature/°C	-20~60	-20~60	-20~60
Humidity	5%~95%	5%~95%	5%~95%
Altitude (m)	<2000	<2000	<2000
Design life	15 <sup>+</sup> Years (25°C/77°F)	15 <sup>+</sup> Years (25°C/77°F)	15 <sup>+</sup> Years (25°C/77°F)
Cycle Life	>6000, 25 C	>6000, 25 C	>6000, 25 C
Authentication Level	IEC62619/CE /UN38.3	VDE2510-50/IEC62619/UL1973 UL9540A/CE/UN38.3	IEC62619/CE /UN38.3
Feature	Pre-Charge Dual-active protection Flexible current steps Dry contact wake up	Pre-Charge Dual-active protection Flexible current steps Dry contact wake up	

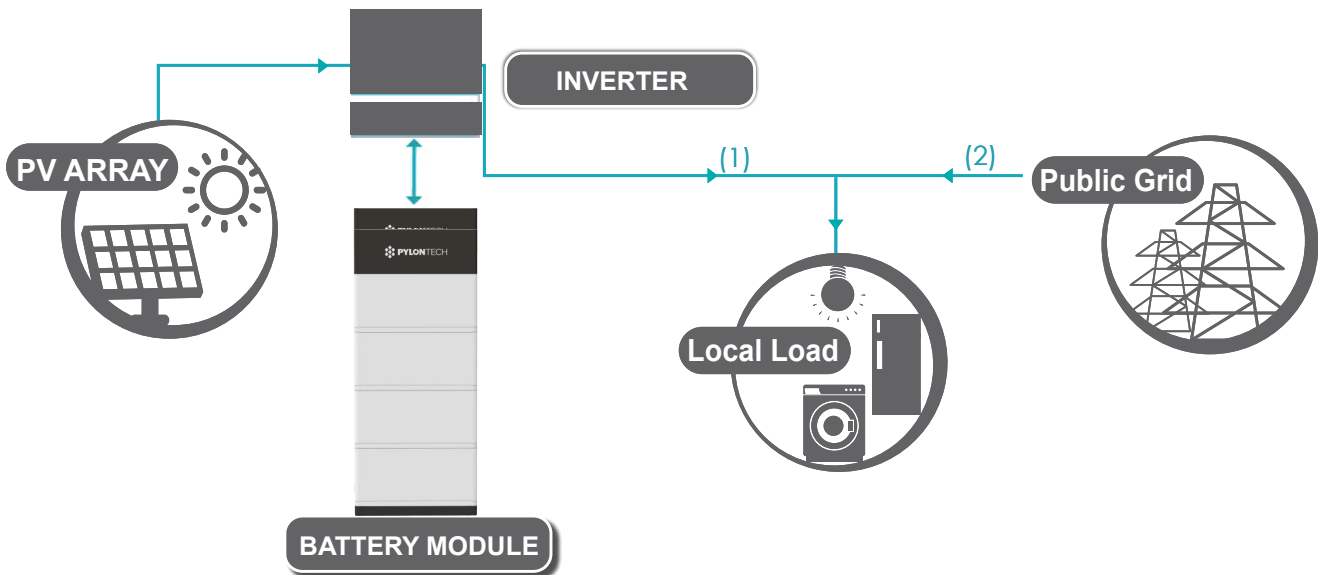
## **PYLONTECH FORCE SERIES**

Pylontech Force L1 is the latest version of HESS (home energy storage system), inherit with our modular design concept, combined with easy installation, simple connectors and outdoor compatibility, the furniture type of equipment is your ideal place to hold your valuable force - the electricity.

### **Advantages**

1. Modular design gives highest flexibility
2. LFP cell inside enable longest life and highest safety
3. Quick connector to save installation time
4. Furniture like design suits both indoor and outdoor installation
5. Proven BMS with widest compatibilities with inverters

### **Solution of ESS**





## Technical Specification

### FORCE L1



Battery Module	2	3	4	5	6	7
Battery System Capacity (kWh)	7.10	10.65	14.21	17.76	21.31	24.86
Voltage Range (V)	44.5~54					
Dimension (W*D*H mm)	600*380*530	600*380*700	600*380*870	600*380*1040	600*380*1210	600*380*1380
Weight (kg)	84	119	154	189	224	259
Depth of Discharge	90%					
Charge/Discharge (Recommend)	30	45	60	75	90	100
Current(A) (Continuous)	75	100	100	100	100	100
(Peak@15s)	105	105	105	105	105	105
Communication	CAN,RS485					
Protection Class	IP55					
Working Temperature(℃)	0~50					
Storage Temperature(℃)	-20~60					
Humidity	5%-95%					
Altitude (M)	<2000					
Design Life	15 <sup>+</sup> Years (25℃/°F)					
Cycle Life	>6000, 25℃					
Authentication Level	VDE/IEC62619/CE/UN38.3					

## Technical Specification

### FORCE L2



Battery Module	2	3	4
Battery System Capacity (kWh)	7.10	10.65	14.21
Voltage Range (V)	44.5~54		
Dimension (W*D*H mm)	450*300*820	450*300*1120	450*300*1410
Weight (kg)	83	119	155
Depth of Discharge	90%		
Charge/Discharge (Recommend)	30	45	60
Current(A) (Continuous)	75	100	100
(Peak@15s)	105	105	105
Communication	CAN,RS485		
Protection Class	IP55		
Working Temperature(℃)	0~50		
Storage Temperature(℃)	-20~60		
Humidity	5%-95%		
Altitude (M)	<2000		
Design Life	15 <sup>+</sup> Years (25℃/°F)		
Cycle Life	>6000, 25℃		
Authentication Level	VDE/IEC62619/CE/UN38.3		

**Cube the Force** |  **PYLONTECH**