



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY S BATERIOVÝM ÚLOŽIŠTĚM PRO RODINNÝ DŮM

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

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Hub

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

BRNO 2021

Diplomová práce

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

Ústav elektrotechnologie

Student: Bc. Michal Hub

ID: 164735

Ročník: 2

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s principem fotovoltaického děje a proveďte analýzu a rozbor používaných FV technologií pro výrobu FV článků. Proveďte rozbor technologií pro akumulátorové úložiště dle parametrů jednotlivých typů baterií. Zaměřte se na vyhodnocení trhu v ČR (výhody, dotace, podmínky, legislativa). V praktické části práce navrhnete různé řešení FVE + bateriové úložiště pro rodinný dům dle konkrétního zadání a proveďte multikriteriální analýzu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 24.5.2021

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

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

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem fotovoltaické elektrárny s bateriovým uložištěm pro rodinný dům. V teoretické části je nejprve rozebrán princip fotovoltaických článků společně s různými druhy používanými v této oblasti. Dále se práce zabývá popisem fotovoltaických systémů a jeho jednotlivými částmi tvořeny střídači a akumulátory. V práci je analyzován objekt pro instalaci fotovoltaické elektrárny včetně legislativních a dotačních podmínek. V závěrečné části je rozebrán samotný systém s cenovým návrhem.

Klíčová slova

fotovoltaický jev, fotovoltaický článek, PN přechod, střídač, akumulátor, dotace, pvsol

Abstract

This diploma thesis deals with the design of a photovoltaic power plant with a battery storage for a family house. In the theoretical part at first the principle of photovoltaic cells is analysed together with the various types used in this branch. Furthermore, the thesis deals with the description of photovoltaic systems and its individual parts consisting of inverters and accumulators. This thesis analyses the object for the installation of a photovoltaic power plant, including legislative and subsidy conditions. In the final part, itself system is analysed with a price proposal.

Keywords

Photovoltaics effect, photovoltaics cell, PN transition, inverter, battery, subsidy, pvsol

Bibliografická citace

HUB, M. *Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie, 2021. 69 s., 20 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: *Michal Hub*

VUT ID studenta: *164735*

Typ práce: *Diplomová práce*

Akademický rok: *2020/21*

Téma závěrečné práce: *Návrh fotovoltaické elektrárny
s bateriovým úložištěm pro rodinný dům*

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

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

V Brně dne: 23. května 2021

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Vaňkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: 23. května 2021

podpis autora

Obsah

| | |
|---|-----------|
| SEZNAM OBRÁZKŮ | 9 |
| SEZNAM TABULEK..... | 10 |
| ÚVOD | 11 |
| 1. FOTOVOLTAICKÝ DĚJ | 12 |
| 1.1 HISTORIE..... | 12 |
| 1.2 PRINCIP FOTOVOLTAICKÉHO DĚJE | 12 |
| 2. GENERAČNÍ VÝVOJ FV ČLÁNKŮ | 13 |
| 2.1 PRVNÍ GENERACE | 13 |
| 2.2 DRUHÁ GENERACE | 13 |
| 2.3 TŘETÍ GENERACE..... | 13 |
| 2.4 ČTVRTÁ GENERACE..... | 13 |
| 3. DRUHY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ | 14 |
| 3.1 KRYSTALICKÉ KŘEMÍKOVÉ ČLÁNKY | 14 |
| 3.1.1 Monokrystalické články..... | 14 |
| 3.1.2 Polykrystalické články..... | 14 |
| 3.2 TENKOVRSŤVÉ ČLÁNKY | 15 |
| 3.2.1 Amorfni křemíkové články..... | 15 |
| 3.2.2 Mikromorfni články..... | 16 |
| 3.2.3 CIS články..... | 17 |
| 3.3 PEROVSKITOVÉ ČLÁNKY | 17 |
| 4. JEDNOTLIVÉ ČÁSTI FVE..... | 18 |
| 4.1 FOTOVOLTAICKÉ PANELE..... | 18 |
| 4.1.1 Konstrukce FV panelů..... | 18 |
| 4.1.2 Energetická návratnost FV panelů..... | 19 |
| 4.1.3 Dimenzování FV panelů..... | 19 |
| 4.1.4 Citlivost FV modulů na počasí..... | 20 |
| 4.1.5 Vliv zastínění FV modulu | 22 |
| 4.1.6 Tenkovrstvé panely..... | 23 |
| 4.1.7 Čištění FV panelů | 24 |
| 4.2 STRÍDAČ..... | 24 |
| 4.3 AKUMULÁTOROVÉ ULOŽIŠTĚ | 25 |
| 4.3.1 Olověné akumulátory | 27 |
| 4.3.2 Lithiové akumulátory | 28 |
| 5. LEGISLATIVA ČR | 30 |
| 5.1 ENERGETICKÝ ZÁKON | 30 |
| 5.2 ZJEDNODUŠENÍ PROVOZOVÁNÍ DOMÁCÍCH FVE DO 10 kW | 30 |
| 5.3 VARIANTY PŘIPOJOVÁNÍ VÝROBNY DO 10 kW | 31 |
| 5.3.1 Připojení mikrozdroje (do 10 kW, bez přetoků) | 31 |
| 5.3.2 Připojení ostatních výroben do 10 kW bez licence (s přetoky do DS)..... | 31 |
| 5.3.3 Připojení výroben do DS, provozovaných na základě licence | 32 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 5.3.4 | <i>Ostrovní systém</i> | 32 |
| 6. | DOTAČNÍ PROGRAM NOVÁ ZELENÁ ÚSPORÁM | 33 |
| 6.1 | OBLASTI PODPORY PRO RODINNÉ DOMY..... | 33 |
| 6.1.1 | <i>Oblast A – Snižování energetické náročnosti stávajících rodinných domů</i> | 33 |
| 6.1.2 | <i>Oblast B – Výstavba nebo nákup nového rodinného domu s velmi nízkou energetickou náročností</i> | 33 |
| 6.1.3 | <i>Oblast C – Efektivní využití zdrojů energie</i> | 33 |
| 6.1.4 | <i>Podoblast C.3 – Instalace solárních termických a fotovoltaických systémů</i> | 33 |
| 7. | ANALÝZA OBJEKTU PRO INSTALACI FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU | 38 |
| 7.1 | LOKALITA RODINNÉHO DOMU..... | 38 |
| 7.2 | ANALÝZA RODINNÉHO DOMU..... | 38 |
| 7.3 | SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE V OBJEKTU..... | 39 |
| 7.4 | ORIENTAČNÍ VÝPOČET V PVGIS..... | 40 |
| 8. | NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY | 42 |
| 8.1 | NÁVRHOVÝ SOFTWARE PV*SOL..... | 42 |
| 8.1.1 | <i>Návrh fotovoltaického systému v PV*SOL</i> | 42 |
| 8.2 | NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY..... | 43 |
| 8.2.1 | <i>Spotřebitelský profil elektrické energie</i> | 43 |
| 8.2.2 | <i>Měření spotřeby elektrické energie</i> | 44 |
| 8.2.3 | <i>Vytvoření domu pro návrh fotovoltaického systému</i> | 45 |
| 8.3 | POROVNÁNÍ ROZMÍSTĚNÍ FV PANELŮ..... | 47 |
| 8.3.1 | <i>Rozmístění panelů na jižní stranu střechy</i> | 47 |
| 8.3.2 | <i>Rozmístění panelů na jižní a západní stranu střechy</i> | 48 |
| 8.3.3 | <i>Rozmístění panelů na jižní, východní a západní stranu střechy</i> | 49 |
| 8.3.4 | <i>Zhodnocení rozmístění FV panelů na střeše</i> | 49 |
| 8.4 | NÁVRHY FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMU..... | 50 |
| 8.4.1 | <i>Jednofázový fotovoltaický systém s bateriový uložištěm 2,46 kW_p</i> | 51 |
| 8.4.2 | <i>Jednofázový fotovoltaický systém s bateriový uložištěm 3,28 kW_p</i> | 52 |
| 8.4.3 | <i>Třífázový fotovoltaický systém s bateriový uložištěm 4,1 kW_p</i> | 52 |
| 8.4.4 | <i>Třífázový fotovoltaický systém s bateriový uložištěm 6,56 kW_p</i> | 53 |
| 8.4.5 | <i>Třífázový fotovoltaický systém s bateriový uložištěm 8,2 kW_p</i> | 54 |
| 8.5 | MULTIKRITERIÁLNÍ ANALÝZA..... | 55 |
| 8.5.1 | <i>Saatyho metoda</i> | 55 |
| 8.5.2 | <i>Výběr vhodného FVS Saatyho metodou</i> | 56 |
| 8.5.3 | <i>Vyhodnocení variant návrhů FVE Saatyho metodou</i> | 59 |
| 8.6 | VYBRANÁ VARIANTA FVE 4,1 kW _p | 59 |
| 8.6.1 | <i>Výpočet úspor</i> | 61 |
| 8.6.2 | <i>Položkový rozpočet</i> | 62 |
| 9. | ZÁVĚR | 64 |
| | LITERATURA | 65 |
| | SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK | 68 |
| | SEZNAM PŘÍLOH | 69 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | | |
|------|---|----|
| 1.1 | Zobrazení principu a konstrukce FV článku [3] | 12 |
| 3.1 | Monokrystalické články různých tvarů [3]..... | 14 |
| 3.2 | Polykrystalické články [3]..... | 15 |
| 3.3 | Tenkvrstvý FV článek [7]..... | 15 |
| 3.4 | Struktura třívrstvého amorfního článku [3] | 16 |
| 3.5 | Struktura mikromorfního vícevrstvého článku [8] | 16 |
| 4.1 | Konstrukce FV panelu [12] | 18 |
| 4.2 | Charakteristiky standardního modulu se 72 články [3] | 20 |
| 4.3 | Charakteristiky modulu při rozdílných intenzitách ozáření [14] | 21 |
| 4.4 | Charakteristiky FV modulu při rozdílných teplotách [15] | 21 |
| 4.5 | Charakteristiky modulu se dvěma obtokovými diodami [3] | 22 |
| 4.6 | Zastínění FV panelů sněhem [6]..... | 23 |
| 4.7 | Porovnání zastínění tenkovrstvého a krystalického modulu [6]..... | 23 |
| 4.8 | Relativní účinnost ve venkovních podmínkách u různých technologií [6]..... | 24 |
| 4.9 | Zapojení střídačů: a) centrální b) řetězový c) modulový [4] | 25 |
| 4.10 | Použití baterií u RD [18] | 26 |
| 4.11 | Vybíjecí křivka Li-Ion akumulátorů [21] | 29 |
| 4.12 | Nabíjecí charakteristika Li-Ion akumulátoru [21] | 29 |
| 7.1 | Lokalita rodinného domu [25]..... | 38 |
| 7.2 | Rodinný dům - pohled na jižní a východní část střechy [25] | 39 |
| 7.3 | Historie spotřeby elektřiny RD..... | 40 |
| 7.4 | Zadávání parametrů pro výpočet v PVGIS [26] | 41 |
| 7.5 | PVGIS - výpočet vyrobené elektrické energie FV systémem [26]..... | 41 |
| 8.1 | Spotřebitelský profil použitý pro návrh FVS - zelená „Bojler“; modrá „2 osoby a 2 děti“ | 44 |
| 8.2 | Rozdíl měření elektrické energie součtově a po fázích [29]..... | 45 |
| 8.3 | 3D model domu vytvořený v programu SketchUp..... | 46 |
| 8.4 | PV*SOL - umístění domu včetně okolních stromů..... | 46 |
| 8.5 | Výnos elektrické energie v závislosti na sklonu a orientaci FV panelu [30]..... | 47 |
| 8.6 | FVE 4 kW _p umístěná na jižní straně..... | 48 |
| 8.7 | FVE 4 kW _p umístěná na jižní a západní straně | 48 |
| 8.8 | FVE 4 kW _p umístěná na jižní, východní a západní straně..... | 49 |
| 8.9 | Průběhy jmenovitého výkonu podle rozmístění FV panelů ke dni 20. června | 50 |
| 8.10 | Prognóza výnosů se spotřebou | 60 |
| 8.11 | Grafické znázornění toků energií | 60 |
| 8.12 | Finanční tok..... | 61 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| 4.2 Energetická návratnost FV panelů [6] | 19 |
| 4.3 Porovnání základních parametrů olověných a lithiových akumulátorů [6]..... | 27 |
| 5.1 Pokuty za přetoky z mikrozdrojů do distribuční sítě [22] | 31 |
| 6.1 Požadované parametry v podoblastech podpory C.3.1 a C.3.2 [24] | 34 |
| 6.2 Požadované parametry v podoblasti podpory C.3.3 [24] | 35 |
| 6.3 Požadované parametry v podoblastech podpory C.3.4, C.3.5, C.3.6, C.3.7 [24] | 36 |
| 6.4 Výše podpory v podoblasti C.3 [24] | 37 |
| 8.1 Výsledky návrhu FVE umístěné na jižní straně | 47 |
| 8.2 Výsledky návrhu FVE umístěné na jižní a západní straně | 48 |
| 8.3 Výsledky návrhu FVE umístěné na jižní, východní a západní straně | 49 |
| 8.4 Výsledky návrhu FVE 2,46 kW _p | 51 |
| 8.5 Finanční kalkulace FVE 2,46 kW _p | 51 |
| 8.6 Výsledky návrhu FVE 3,28 kW _p | 52 |
| 8.7 Finanční kalkulace FVE 3,28 kW _p | 52 |
| 8.8 Výsledky návrhu FVE 4,1 kW _p | 53 |
| 8.9 Finanční kalkulace FVE 4,1 kW _p | 53 |
| 8.10 Výsledky návrhu FVE 6,56 kW _p | 54 |
| 8.11 Finanční kalkulace FVE 6,56 kW _p | 54 |
| 8.12 Výsledky návrhu FVE 8,2 kW _p | 54 |
| 8.13 Finanční kalkulace FVE 8,2 kW _p | 55 |
| 8.14 Bodové hodnocení Saatyho stupnice [31]..... | 56 |
| 8.15 Srovnání navržených variant FVE s jednotlivými kritérii | 56 |
| 8.16 Přidělení vah jednotlivým kritériím | 57 |
| 8.17 Párové porovnání návrhů FVS podle energetického ročního výnosu | 57 |
| 8.18 Párové porovnání návrhů FVS podle návratnosti | 58 |
| 8.19 Párové porovnání návrhů FVS podle podílu vlastní spotřeby | 58 |
| 8.20 Párové porovnání návrhů FVS podle stupně soběstačnosti | 58 |
| 8.21 Párové porovnání návrhů FVS podle ceny po odečtení dotace | 58 |
| 8.22 Vyhodnocení variant návrhů | 59 |
| 8.23 Výnos po 30 letech včetně obměny střádače a baterií | 62 |
| 8.24 Položkový rozpočet..... | 62 |

ÚVOD

Využití elektrické energie je v dnešní době považováno za běžnou součást našeho života, a tím se pro nás stává jakýmsi standardem pohodlí, tedy životní úrovní. Odběr elektrické energie každým rokem stoupá, a jelikož většina vyrobené elektrické energie pochází z neobnovitelných zdrojů, jejichž zásoba není nekonečná, proto je vhodné se zabývat získáváním elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Výhoda fotovoltaických elektráren pro rodinné domy či firmy je v tom, že vyrobená energie nemusí být distribuována někam daleko, ale je spotřebována přímo v místě výroby, popřípadě v jeho blízkém okolí. Velikost vyrobené energie přibližně odpovídá energii, kterou je daný objekt schopen spotřebovat.

V této práci se zaměříme na výrobu elektrické energie pomocí fotovoltaických panelů. Abychom zvýšili efektivitu využití vyrobené elektrické energie, použijeme kombinaci fotovoltaické elektrárny s bateriovým uložištěm, které nám umožní čerpat tuto energii, i když nám zrovna slunce nesvítlí a tím pádem i elektrárna nevyrábí elektrický proud.

Diplomová práce je členěná do devíti kapitol. V prvních čtyřech kapitolách se můžeme seznámit s teorií fotovoltaiky jako je fotovoltaický děj, generační vývoj FV článků, jednotlivé typy článků a v neposlední řadě s jednotlivými prvky fotovoltaických elektráren. V kapitole 5 jsou shrnuty legislativní podmínky pro připojování FVE do 10 kW_p k distribuční síti a v kapitole 6 je představen dotační program NZÚ včetně jeho podmínek pro získání podpory. Kapitola 7 se zabývá analýzou rodinného domu, především jeho umístěním a spotřebou. Nejdůležitější částí práce jsou návrhy jednotlivých řešení FVE a následný výběr nejvhodnějšího řešení pomocí multikriteriální analýzy, které jsou zpracovány v kapitole 8. Poslední kapitola 9 představuje stručné shrnutí celé diplomové práce včetně vybraného návrhu.

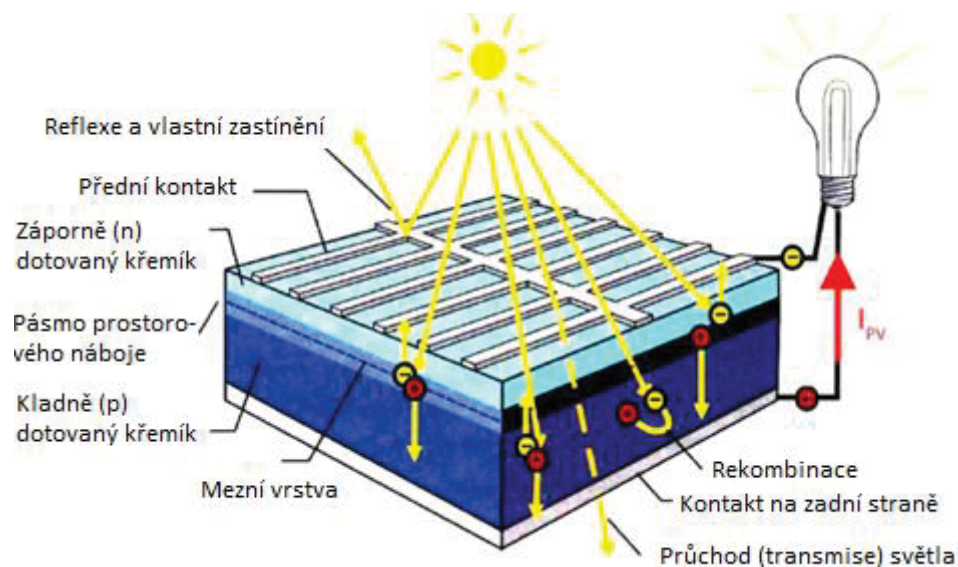
1. FOTOVOLTAICKÝ DĚJ

1.1 Historie

Fyzikální podstatou fotovoltaického (slunečního, solárního) článku je fotoelektrický jev, který byl objeven v roce 1839 francouzským fyzikem Alexandrem Edmondem Becquerelem [1]. Fotovoltaický jev je z fyzikálního hlediska charakterizován, jako přímé vyražení elektronu z valenčního pásu polovodiče fotonem ze slunečního záření, které umožňuje přeměnu slunečního záření na elektrickou energii. Vzájemným působením slunečního záření na polovodič dochází k pohlcování fotonů a následně k uvolňování elektronů.

1.2 Princip fotovoltaického děje

Fotovoltaický článek je v podstatě velkoplošná polovodičová dioda, která je tvořená tenkou křemíkovou destičkou s vlastní vodivostí typu P (s příměsí bóru), kde se na ní ve výrobě vytvoří tenká vrstva polovodiče typu N. Na tomto rozhraní vznikne PN přechod, který zabraňuje volnému přechodu elektronů z místa jejich nadbytku do místa jejich nedostatku. Na přechodu PN se vytvoří elektrická bariéra. Jestliže osvítíme článek, fotony předají svoji energii atomům v krystalové mřížce křemíku a uvolní z ní elektrony, vznikne tzv. vnitřní fotoelektrický jev. Na přechodu PN vznikne mezi horní a spodní vrstvou elektrické napětí, které u křemíkových článků dosahuje velikosti kolem 0,5 až 0,7 V [2].



Obrázek 1.1 Zobrazení principu a konstrukce FV článku [3]

2. GENERAČNÍ VÝVOJ FV ČLÁNKŮ

Během vývoje FV článků byl brán různý pohled na jednotlivé parametry. Nejprve šlo o dosažení co největší účinnosti, ale nebralo se v potaz množství použitého základního materiálu. Později se bral ohled na použité množství základního materiálu, a tedy i na dosažení kratší energetické návratnosti (EPBT – Energy PayBack Time) a zlepšení poměru získané a vložené energie (EROEI – Energy Return on Energy Invested). Tento vývoj je popsán v následujících generačních krocích.

2.1 První generace

Fotovoltaické články první generace jsou na trhu již od začátku sedmdesátých let a doposud tvoří největší podíl na trhu. Reálná účinnost FV článků se pohybuje od 14 do 19 %, avšak v laboratorních podmínkách lze dosáhnout účinnosti až 25 %. FV články se vyrábí z desek monokrystalického křemíku a nevýhodou je, že se při výrobě musí použít velké množství čistého křemíku [4].

2.2 Druhá generace

U FV článků druhé generace dochází ve výrobě k mnohonásobnému ztenčení aktivní polovodičové vrstvy, a tím i k výraznému snížení použitého množství čistého křemíku. Také se zde začínají používat jiné další prvky pro vytvoření polovodičové vrstvy. Ztenčením polovodičové vrstvy dochází ke snížení účinnosti FV článku na hodnotu kolem 10 %. Výhody, které tato generace přináší jsou snížení hmotnosti a dobré mechanické vlastnosti, zejména v ohybu. Jedná se nejčastěji o nahrazování polykrystalickým a amorfním křemíkem s tenčí aktivní polovodičovou vrstvou, přibližně 100 až 1000krát menší než v první generaci [4].

2.3 Třetí generace

V této generaci jde o snahu dosáhnout co nejvyšší účinnosti FV článku, aby byla využita maximální energie dopadajících fotonů slunečního záření. Jedná se zejména o vícevrstvé a koncentrátorové články. Výzkum a vývoj se zabývá v této generaci i jinými metodami, jako jsou fotoelektrochemické články, nanostruktury ve formě uhlíkových tyček a trubiček, nebo pomocí nanosených kvantových teček [4].

2.4 Čtvrtá generace

Tato poslední generace se zabývá vývojem vícevrstvých profilů tak, aby plně využívali široké sluneční spektrum. Jednotlivé vrstvy zachycují dané vlnové délky slunečního spektra. Při dopadu záření na vrstvu, která danou vlnovou délku nevyužije, prochází dál na vrstvu, kterou tato vrstva vhodně využije.

3. DRUHY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ

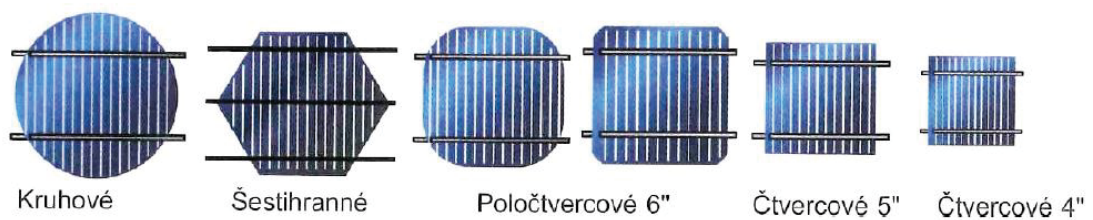
3.1 Krystalické křemíkové články

Křemík je velmi vhodný materiál pro výrobu FV článků a zároveň se také jedná o základní materiál pro elektrotechnickou výrobu, kde na jeho výrobu jsou odzkoušené technologické postupy pro vytváření polovodičových struktur. Další výhodou je, že křemík je druhý nejrozšířenější chemický prvek na Zemi a v zemské kůře je zastoupen přibližně z 30 %.

3.1.1 Monokrystalické články

Monokrystalické křemíkové články (skládají se z jednoho krystalu) jsou známy řadu let a jedná se o nejstarší typ FV článků. Výroba monokrystalu se provádí pomocí Czochralského metody tažením monokrystalu z kelímku. Základní princip výroby křemíkového monokrystalu spočívá v roztavení čistého polykrystalického křemíku při teplotě 1420 °C. Z této taveniny se pomocí zárodku o přesně stanovené krystalografické orientaci pomalu vytáhne za pomalého otáčení válec (ingot) o průměru 125 až 300 mm v délce několika metrů. Válec se poté ořeže na tvar hranolu a je nařezán na jednotlivé destičky (wafery) o tloušťce 200 až 360 μm speciální drátovou pilou [6]. Jednotlivé destičky jsou zbaveny nečistot pomocí leptacích a oplachových lázní.

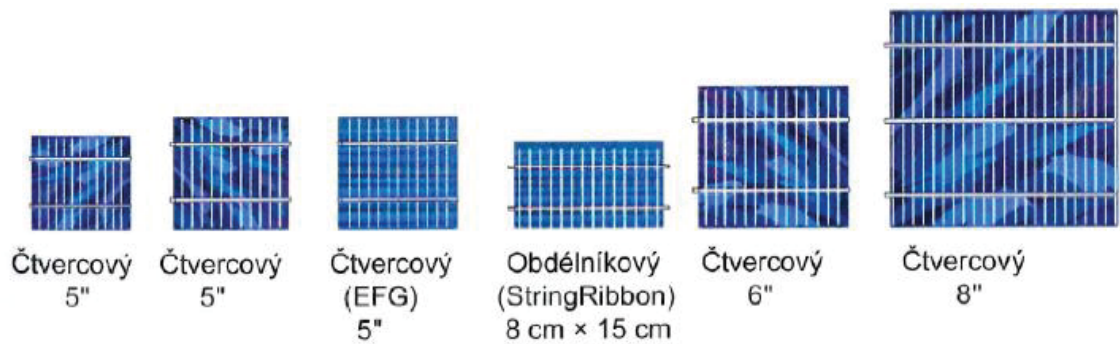
Jelikož materiál FV článku se skládá z jednoho krystalu, jeho povrch je homogenně zbarvený tmavě modrou až černou barvou, případně může být i šedý. Účinnosti těchto článků dosahují 15 až 19,3 % [5].



Obrázek 3.1 Monokrystalické články různých tvarů [3]

3.1.2 Polykrystalické články

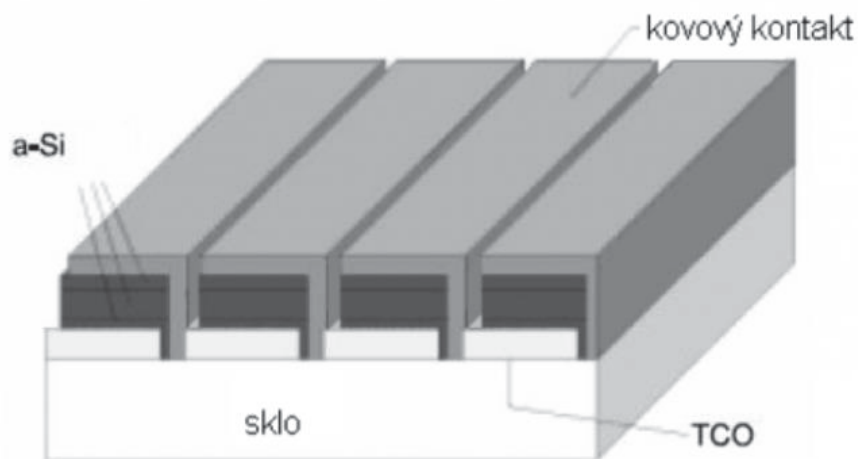
Polykrystalické (mnohokrystalové) křemíkové články mají nižší výrobní náklady oproti monokrystalickým článkům. Čistý křemík se roztaví při teplotě 1500 °C a následně je odlíván do forem, které mají kvádrový tvar. Vzniklý ingot je poté nařezán na tenké plátky. Při tuhnutí křemíkové taveniny dochází k vytváření různě velkých a orientovaných krystalů. Polykrystalická struktura umožňuje snadné rozeznání těchto FV článků od ostatních. Mají modře třpytící se krystalickou strukturu. Účinnosti těchto článků dosahují 13 až 17,1 % [5].



Obrázek 3.2 Polykrystalické články [3]

3.2 Tenkovrstvé články

Charakteristické vlastnosti těchto článků jsou menší citlivost na teplotu a zastínění, flexibilita, větší využití spektrálního záření slunce, možná průhlednost materiálu apod. Nevýhodou těchto FV článků je relativně malá účinnost, která je přibližně poloviční oproti standartním krystalickým článkům. Výroba tenkovrstvých článků je méně energeticky náročná, požaduje se teplota v rozsahu 200 až 500 °C. Dalším rozdílem při výrobě tenkovrstvých modulů oproti krystalickým je ve způsobu propojování jednotlivých článků. U tenkovrstvých modulů se články propojují napařováním vodivých cest, u krystalických se články propojují pájením [6].

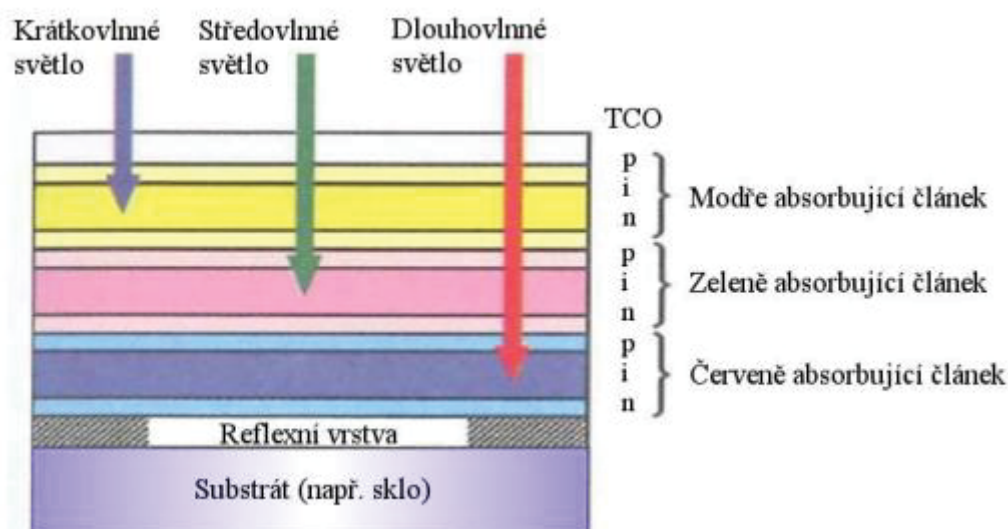


Obrázek 3.3 Tenkovrstvý FV článek [7]

3.2.1 Amorfni křemíkové články

Amorfni křemíkové články spadají do skupiny tenkovrstvých FV článků. Nejprve se používaly v malých elektronických zařízeních jako jsou kalkulačky, hodinky, kapesní svítilny atd. Amorfni křemík vytváří neuspořádanou krystalickou strukturu. Nevýhodou těchto článků je malá účinnost, která ještě v období prvních šesti měsíců používání klesá a poté se ustálí na konstantní hodnotě. Aby bylo dosaženo vyšší účinnosti, vyvinuly se

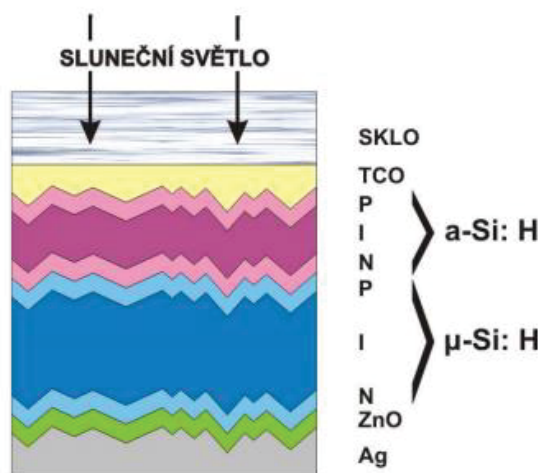
vícevrstvé články. Každá dílčí vrstva je optimalizována pro jinou vlnovou délku slunečního spektra, a tím dojde ke zvýšení celkové účinnosti článku. Účinnosti těchto článků dosahují 5 až 7 % [3][5].



Obrázek 3.4 Struktura třívrstvého amorfního článku [3]

3.2.2 Mikromorfni články

Mikromorfni články jsou kombinací mikrokystalického a amorfního křemíku v tandemových článcích. Amorfni křemík má velikou schopnost absorbovat spodní část slunečního záření, od modré přes zelenou až po žlutou část spektra. Oproti tomu mikrokystalický křemík má zase velikou schopnost absorbovat sluneční záření v druhé polovině spektra, a to v oblasti červené až infračervené. Výhodou oproti amorfním článkům je vyšší účinnost (až o 50 %) a také menší počáteční degradace. Účinnosti těchto článků dosahují až 11 % [8].



Obrázek 3.5 Struktura mikromorfniho vícevrstvého článku [8]

3.2.3 CIS články

CIS články neboli Copper-Indium-diSelenid (dvojselenid mědi-india) jsou články vyrobené tenkovrstvou technologií. Výroba článků probíhá ve vakuu při teplotě kolem 500 °C, kde se na nosný materiál (sklo, fólii) nanese tenká kontaktní vrstva. Na ní se následně nanese absorpční vrstva CIS s charakteristickou vodivostí typu P. Na tuto vrstvu se poté nanese další vrstva s vodivostí typu N tvořená sulfidem kadmia. Hlavní výhodou těchto článků je, že nepodléhají stárnutím vlivem slunečního záření. Avšak nepříznivý vliv na tyto články má horké a vlhké prostředí, které mohou způsobit snížení účinnosti. Proto se při výrobě musí dbát na dokonalé zapouzdření článků, aby jej vlhkost nemohla negativně ovlivňovat. Zbarvení těchto článků je tmavě šedé až černé. Účinnosti těchto článků se pohybují kolem 11 % [6].

3.3 Perovskitové články

Perovskitové články jsou relativně nová technologie, která se začínala vyvíjet v roce 2009. Články jsou vyrobeny na bázi perovskitu CaTiO_3 (oxidu titaničito-vápenatého). Zpočátku články dosahovali malé účinnosti kolem 4 %. Koncem roku 2018 bylo dosaženo účinnosti přes 23 %. Hlavní výhodou těchto článků je jednoduchá a méně nákladná výroba ve srovnání s krystalickými články. Vyrobené panely jsou lehké, ohebné a mohou být také průhledné [9].

Potencionální využití perovskitových článků je v kombinaci s klasickými křemíkovými články, jelikož perovskity jsou schopné pracovat i s vlnovými délkami zeleného nebo modrého světla. Takovéto články by byly dražší na jednotku plochy, ale díky znatelně vyšší účinnosti by ve výsledku byly účinnější na jednotku poskytovaného výkonu [10].

4. JEDNOTLIVÉ ČÁSTI FVE

4.1 Fotovoltaické panely

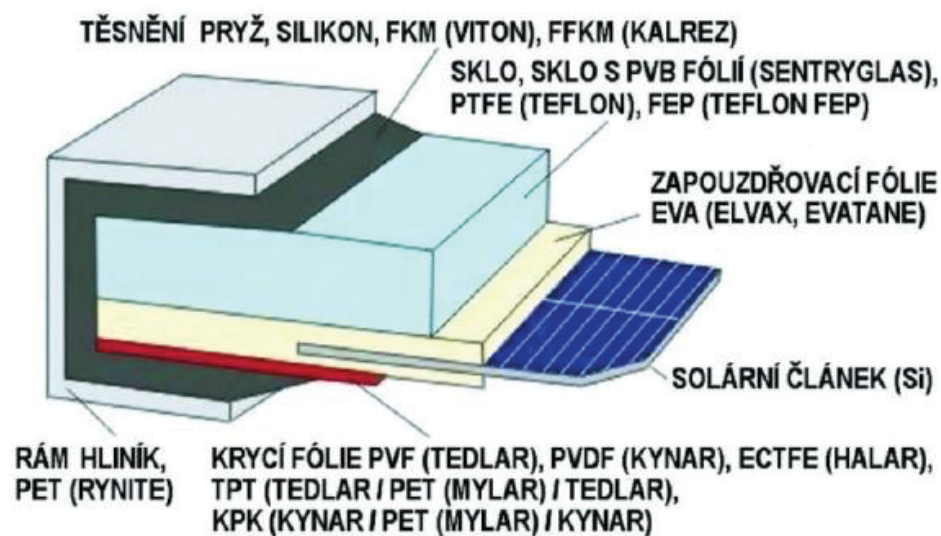
Jednu z hlavních součástí FVE tvoří FV panely, kde jsou umístěny jednotlivé články vedle sebe a jsou propojené do série.

4.1.1 Konstrukce FV panelů

Jelikož samostatné FV články jsou samy o sobě křehké a zranitelné, musí se vhodně zapouzdřit, aby byly ochráněné před vnějšími vlivy. Jednotlivé články jsou mezi sebou propojeny do série tak, aby FV panel (modul) při definovaném osvětlení generoval požadované stejnosměrné napětí a výkon. Maximální výkon především záleží na celkové ploše FV článků, tedy i na velikosti celého panelu. Současné krystalické FV články mají napětí 0,5 V a výkon až 4 W. Většinou se FV panel skládá ze 72 článků, případně z méně článků např. 36, 48, 54, 60 [6].

Panel je zpravidla sestaven z ochranného hliníkového nebo duralového rámu, který je krytý speciálním temperovaným (kaleným) sklem. Tyto prvky chrání panel před mechanickým namáháním a povětrnostními podmínkami jako je déšť, mráz, sníh. Na sklo je ze spodní strany položena EVA (Ethylen-Vinyl-Acetát) fólie a na ní jsou umístěné jednotlivé propojené články. Na těchto článkách je opět položena EVA fólie. Zadní stěnu FV panelu tvoří laminátová deska z materiálu PVF-PET-PVF (polyvinylidenfluorid-polyetyléntereftalát-polyvinylidenfluorid). Na zadní straně jsou vyvedeny vývody článků z jednotlivých větví zakončené připojovací krabicí, ve které se nachází připojovací svorkovnice a překlenovací diody [11].

Běžný FV panel má výkon 100 až 360 W s odpovídající plochou od 0,6 do 2 m².



Obrázek 4.1 Konstrukce FV panelu [12]

4.1.2 Energetická návratnost FV panelů

Koncept doby energetické návratnosti (EPBT) je pojem, pod kterým se rozumí doba, za kterou FV panel vyrobí tolik energie, kolik je spotřebováno na jeho výrobu. U nových panelů a při optimalizaci technologického postupu výroby se tato doba stále snižuje.

EPBT je definována jednoduchým vztahem:

$$EPBT = \frac{E_{input}}{E_{saved}}, \quad (4.1)$$

kde E_{input} zahrnuje veškerou energii vstupující do panelu během celého životního cyklu (energie potřebná k výrobě, energii potřebnou k instalaci, energii potřebnou k likvidaci) a E_{saved} je průměrná hodnota vyrobené energie za jeden rok provozu [13].

V současné době je energetická návratnost FV panelů jednotlivých typů různá, viz tabulka 4.1.

Tabulka 4.1 Energetická návratnost FV panelů [6]

| Typ FV panelu | Doba energetické návratnosti |
|---|------------------------------|
| Křemíkové panely (monokrystalické, polykrystalické) | Cca 1,5 roku |
| Amorfnní panely (obecně) | Cca 1,2 roku |
| Amorfnní (technologie CIS) | Cca 0,8 roku |

4.1.3 Dimenzování FV panelů

Výkon, potřebná plocha a účinnost

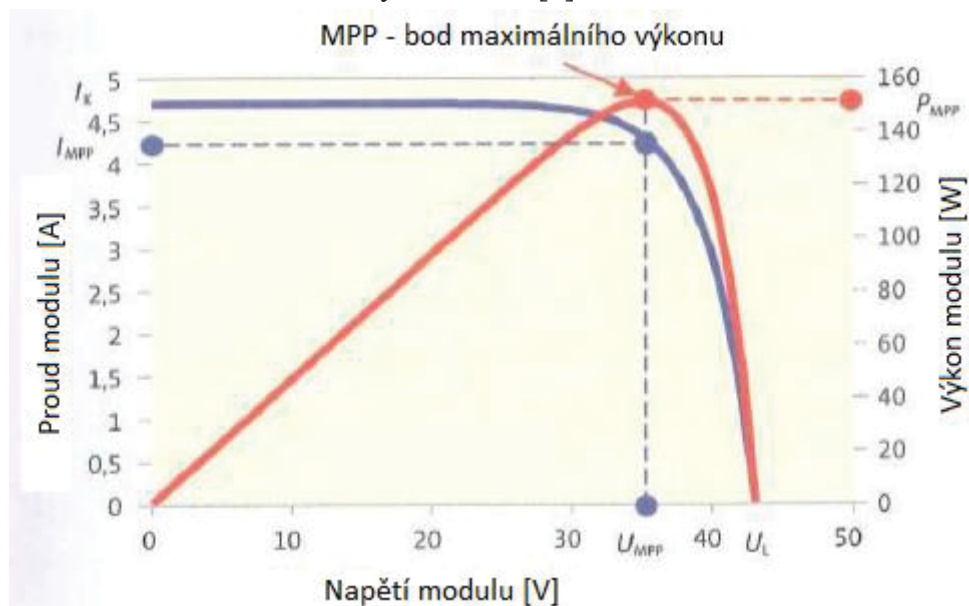
Účinnost FV modulu nebo solárního článku je definována vztahem (4.2).

$$\eta = \frac{P_{MPP}}{A \cdot e} = \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{A \cdot e}, \quad (4.2)$$

kde P_{MPP} je hodnota v bodu maximálního výkonu [W], A je plocha modulu [m^2] a e je intenzita slunečního záření [W/m^2]. V katalogových listech je účinnost vždy uváděná při standardních zkušebních podmínkách (STC). Jelikož intenzita slunečního záření během roku, dne kolísá v závislosti na ročním období a počasí, byla jako referenční hodnota pro určení účinnosti stanovena intenzita slunečního záření na $e = 1000 \text{ W/m}^2$. Výkon solárních článků je závislý na dopadajícím slunečním záření a také na teplotě samotného FV článku. Proto jsou tyto hodnoty definovány jako STC (Standard Test Conditions). Ve fotovoltaice se také stanovila teplota článku nebo modulu na $25 \text{ }^\circ\text{C}$ a spektrum slunečního záření na hodnotu $AM = 1,5$ (AM – Air Mass) [6].

Je-li slunce kolmo k zemskému povrchu, dopadá sluneční záření na zemský povrch po nejkratší dráze, tedy i s nejmenší ztrátou a koeficient $AM = 1$. Naopak tomu je při východu a západu slunce, kdy je slunce na obloze nízko nad horizontem a prodlužuje se dráha dopadajícího slunečního záření o koeficient AM . V tomto důsledku je intenzita dopadajícího záření menší a také se mění spektrální složení slunečního záření. Mimo

atmosféru platí koeficient $AM = 0$. Pro většinu zemského povrchu se používá střední hodnota koeficientu vzduchové hmoty $AM = 1,5$ [6].



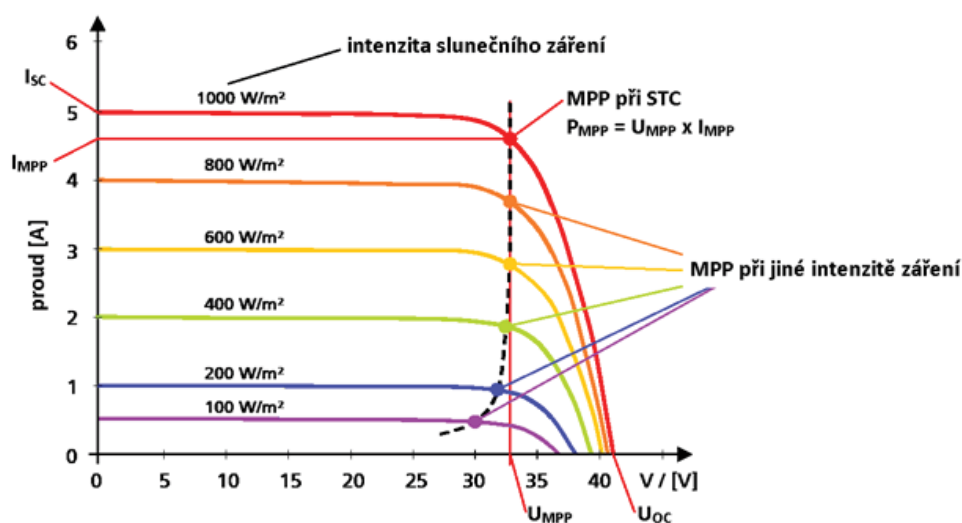
Obrázek 4.2 Charakteristiky standardního modulu se 72 články [3]

Účinnost celého modulu je vždy menší než účinnost článku, protože přední ochranné sklo propouští sluneční záření se ztrátami a modul nelze osadit články v celé ploše. Na výrobním štítku FV modulu se uvádí maximální výkon P_{MAX} (P_{MPP}) s příslušným napětím U_{MPP} a proudem I_{MPP} v bodě maximálního výkonu MPP. Další hodnoty udávané u FV modulu jsou napětí na prázdko U_L a zkratový proud I_K . Vzájemné vazby mezi IU charakteristikou a výkonovou charakteristikou FV modulu jsou vidět na obrázku 4.2.

4.1.4 Citlivost FV modulů na počasí

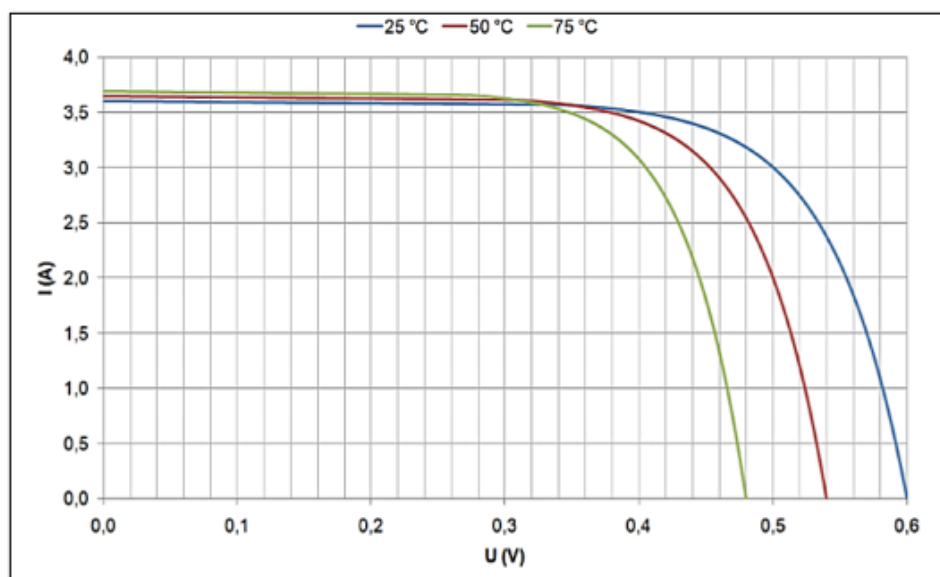
Veškeré měření elektrických parametrů a charakteristik FV modulů se provádí měřením v laboratořích za pevně definovaných světelných a teplotních podmínek. Naměřené hodnoty jsou definovány jako jmenovité hodnoty. Díky těmto hodnotám lze nezávisle na počasí a na místě použité instalace provádět různé FV moduly. V praxi, mimo laboratoř se téměř nikdy nesečkáme se standardními podmínkami STC. Protože v závislosti na intenzitě dopadajícího slunečního záření a také v závislosti na teplotě FV článků se napětí, proud, tedy i výkon během dne neustále mění [6].

Intenzita ozáření FV modulu slunečním zářením je přímo úměrná velikosti proudu generovaného modulem. Poklesne-li intenzita záření na polovinu, modul začne dodávat poloviční proud. Na obrázku 4.3 je vidět závislost intenzity ozáření FV modulu [6].



Obrázek 4.3 Charakteristiky modulu při rozdílných intenzitách ozáření [14]

Vliv teploty FV modulu má v prvé řadě za následek změnu velikosti generovaného napětí. Čím je nižší teplota FV modulu, tím se zvýší jeho napětí. V zimním období se může napětí dostat až 20 % nad jmenovitou hodnotu. Při vyšších teplotách naopak napětí klesá. Proto při oteplení modulu klesá jeho účinnost tedy tím i výkon. V létě za pěkného slunečního dne se může teplota modulu pohybovat kolem 50 °C velmi snadno. Za každý stupeň zvýšené teploty oproti STC ztrácejí krystalické moduly přibližně 0,4 až 0,5 % svého jmenovitého výkonu. I přes tento negativní vliv dodávají FV moduly v létě cca o 80 % elektrické energie více než v zimě, a to díky tomu, že intenzita slunečního záření je výrazně vyšší. Vhodné zvolení odvětrávání zadního FV panelu představuje chlazení a tím se zvyšuje účinnost a výnosy elektrické energie [6].

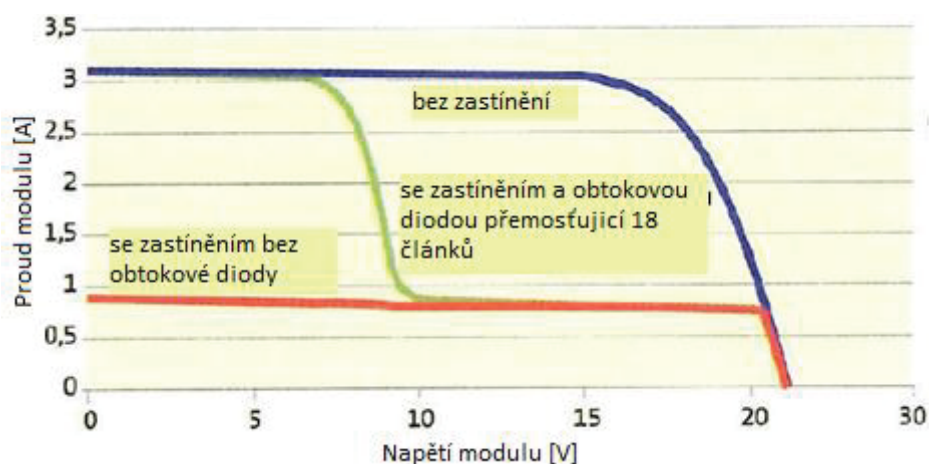


Obrázek 4.4 Charakteristiky FV modulu při rozdílných teplotách [15]

4.1.5 Vliv zastínění FV modulu

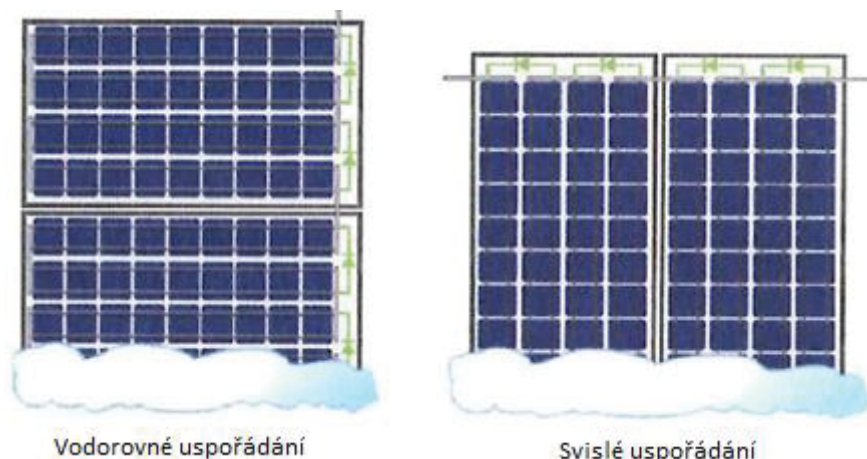
Největší vliv na zastínění mají FV panely, které se skládají z článků krystalického křemíku. Tyto články jsou ve většině případů zapojených do série (větve s 36 nebo 72 články) a proto jsou FV panely velmi citlivé na částečné zastínění. Jsou-li jednotlivé větve modulů nerovnoměrně osvětleny a zapojeny do série, dává celá větev takový proud, jako nejméně osvětlený modul. Například, když jeden článek zastíní list, tento článek v tomto okamžiku nevyrábí žádný proud. Ostatní články, které jsou plně osvětleny v této větvi generují proud, který prochází neosvětleným článkem, kde se elektrická energie přemění v teplo. V nejhorším případě zde může vzniknout tzv. horký bod (Hot Spot), který může natavit materiál článku a modul zničit. Aby se předešlo těmto problémům a případnému zničení modulů, používají se obtokové diody (bypasse diody), které vedou proud mimo neosvětlený článek. Jedna obtoková dioda obvykle přemostňuje 18 až 20 FV článků [6].

Obtokové diody nejen chrání FV panel před poškozením, ale také snižují ztráty způsobené zastíněním. Částečné zastínění se projevuje jako výrazné snížení intenzity slunečního záření, v tom případě to vede i ke snížení generovaného proudu. Zastíněný článek omezuje proud v celém sériovém spojení jednotlivých FV článků. Díky obtokové diodě se projeví pouze snížení výkonu FV panelu, viz obrázek 4.5.



Obrázek 4.5 Charakteristiky modulu se dvěma obtokovými diodami [3]

V horských oblastech bohatých na sníh nebo při vodorovném zastínění (řady panelů s malým rozstupem na rovných střechách), lze vodorovným uspořádáním standardních panelů snížit ztráty až o 50 % [6]. Při částečném zastínění přemostňuje obtoková dioda jen dvě řady článků, a proto nejsou elektricky postiženy všechny řady článků, jak je tomu u svislého uspořádání. Porovnání vodorovného a svislého uspořádání je zobrazeno na obrázku 4.6, kde je spodní část zastíněna sněhem.

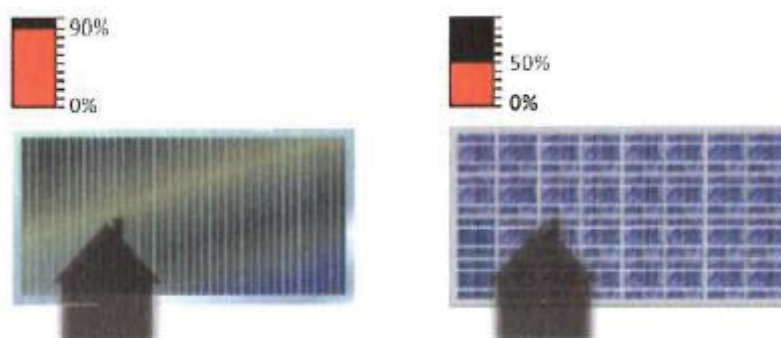


Obrázek 4.6 Zastínění FV panelů sněhem [6]

4.1.6 Tenkovrstvé panely

Tenkovrstvé moduly od krystalických se neliší pouze v optickém vzhledu, ale především v účinnosti, v závislosti na intenzitě záření, teplotě článku, spektrální citlivosti a toleranci vůči částečnému zastínění. Menší účinnost tenkovrstvých modulů je potřeba vykompenzovat zvětšením užité plochy modulů, aby dosáhly stejného výkonu jako u krystalických modulů [6].

Tenkovrstvé moduly jsou více imunní proti částečnému zastínění v porovnání s jinými moduly. U krystalických modulů se dvěma obtokovými diodami vede úplné zastínění jednoho článku k poklesu výkonu až na polovinu. Oproti tomu se výkon u tenkovrstvých modulů snižuje úměrně zastíněné ploše. Na obrázku 4.7 je znázorněno částečné zastínění FV modulů, vlevo tenkovrstvý a vpravo krystalický modul.

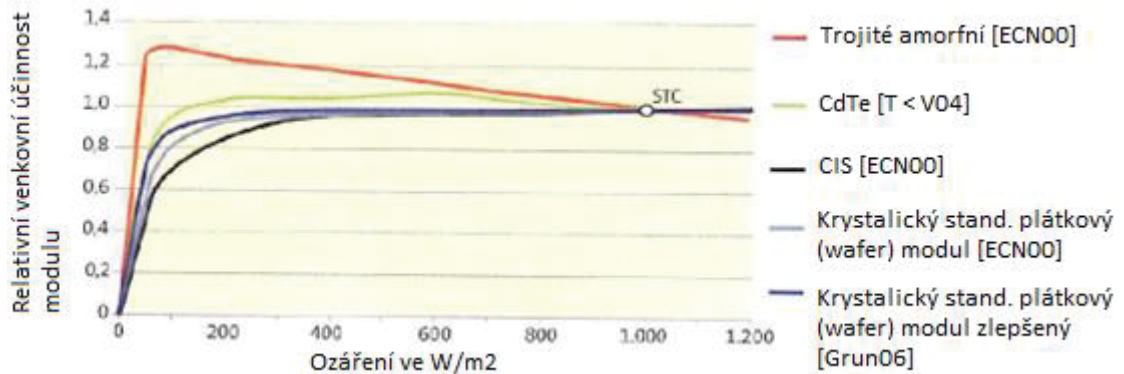


Obrázek 4.7 Porovnání zastínění tenkovrstvého a krystalického modulu [6]

Výtěžek elektrické energie u tenkovrstvých modulů může být poměrně vysoký za daných podmínek, i když mají moduly menší účinnost než krystalické. Tenkovrstvé moduly mají výhodu, protože jsou méně závislé na teplotě a tím jejich výkon s teplotou klesá jen nepatrně. Amorfni moduly mohou při nižším slunečním záření a při vyšších teplotách dosahovat dokonce vyšší účinnosti než při STC podmínkách při 25 °C. Články z amorfniho křemíku jsou schopné optimálně absorbovat sluneční záření o kratších

vlnových délkách, zato články mikrokrystalické (CdTe, CIS) optimálně absorbují záření o středních vlnových délkách. Tímto tenkovrstvé články dosahují vyšší účinnosti při malém osvětlení a jsou vhodné pro absorbování difuzního záření. V tandemových člancích jsou jednotlivé články umístěny nad sebou tak, aby každá vrstva absorbovala nejvíce svou část slunečního spektra. U těchto článků může být účinnost při slabém osvětlení až o 30 % vyšší, než je udána účinnost v bodě STC, viz obrázek 4.8 [6].

Tenkovrstvé moduly je výhodné použít tam, kde nelze zajistit dobré zadní chlazení modulů nebo tam, kde hrozí časté částečné zastínění modulu.



Obrázek 4.8 Relativní účinnost ve venkovních podmínkách u různých technologií [6]

4.1.7 Čištění FV panelů

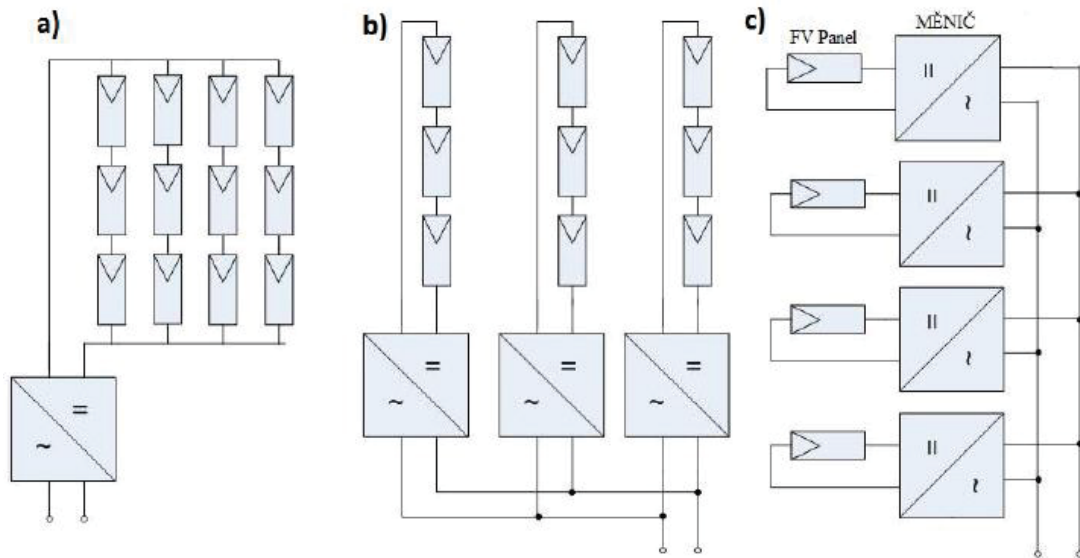
Na FV panelech se již po krátké době od instalace začnou usazovat nečistoty ve formě prachu, písku, sazí a dalších jiných nečistot. Tyto nánosy nečistot jednoznačně ovlivňují výkon FV panelů. Vše záleží, v jakém prostředí se daná elektrárna nachází, jestli blízko dálnice, průmyslové zóny, města apod. Obecně se tvrdí, že FV panely jsou bezúdržbové a samočisticí. Především záleží na sklonu instalovaných panelů. Zahraniční studie ukazují, že více nečistot se usadí na ploše s menším sklonem od vodorovné roviny. Po osmi měsících, kdy FV panely umístěny vodorovně nejsou čištěny a poté se důkladně vyčistí, vzroste výkon vodorovně položených panelů až o 36 %. U skloněných FV panelů nebyl efekt čištění tak výrazný [16].

4.2 Střídač

Střídače často nazývané jako měniče (invertory) slouží k přeměně stejnosměrného proudu (DC), který vyrábí FV panely na proud střídavý (AC) tak, aby bylo možné připojit elektrárnu do distribuční sítě o požadovaných parametrech (230/400 V 50 Hz). Střídače jsou schopny zobrazovat a ukládat informace, kolik elektrické energie bylo vyrobeno, jaký je aktuální dodávaný výkon z FV panelů apod. V ideálním případě by měl střídač pracovat bezztrátově, avšak díky moderní výkonové technice střídače v reálném prostředí pracují jen s malými ztrátami. Abychom získali co největší výkon z FV panelů

musí střídač pracovat v bodě maximálního výkonu (MPP) FV panelu. Tento bod se posouvá vlivem změn ozáření a teploty FV panelů. Kvalitní střídače v dnešní době obsahují jeden nebo více sledovačů maximálního bodu výkonu (MPPT), což je funkce aktivního hledání pracovního bodu FV panelu změnou výstupního odporu střídače. Čím je lepší a promyšlenější algoritmus MPPT, tím lze dosáhnout vyšší účinnosti fotovoltaického systému. Maximální účinnost se dnes pohybuje kolem 96 % [12].

Dle použití se střídače dělí na schopné pracovat samostatně v ostrovních sítích a na střídače, které jsou připojeny k distribuční síti. Dále střídače můžeme rozdělit podle způsobu zapojení s FV panely na centrální, řetězové (stringové) a modulové střídače. Jednotlivé koncepce zapojení střídačů s FV panely jsou zobrazeny na obrázku 4.9.



Obrázek 4.9 Zapojení střídačů: a) centrální b) řetězový c) modulový [4]

Podle vnitřní konstrukce a zapojení můžeme dělit střídače na transformátorové a bez transformátorové.

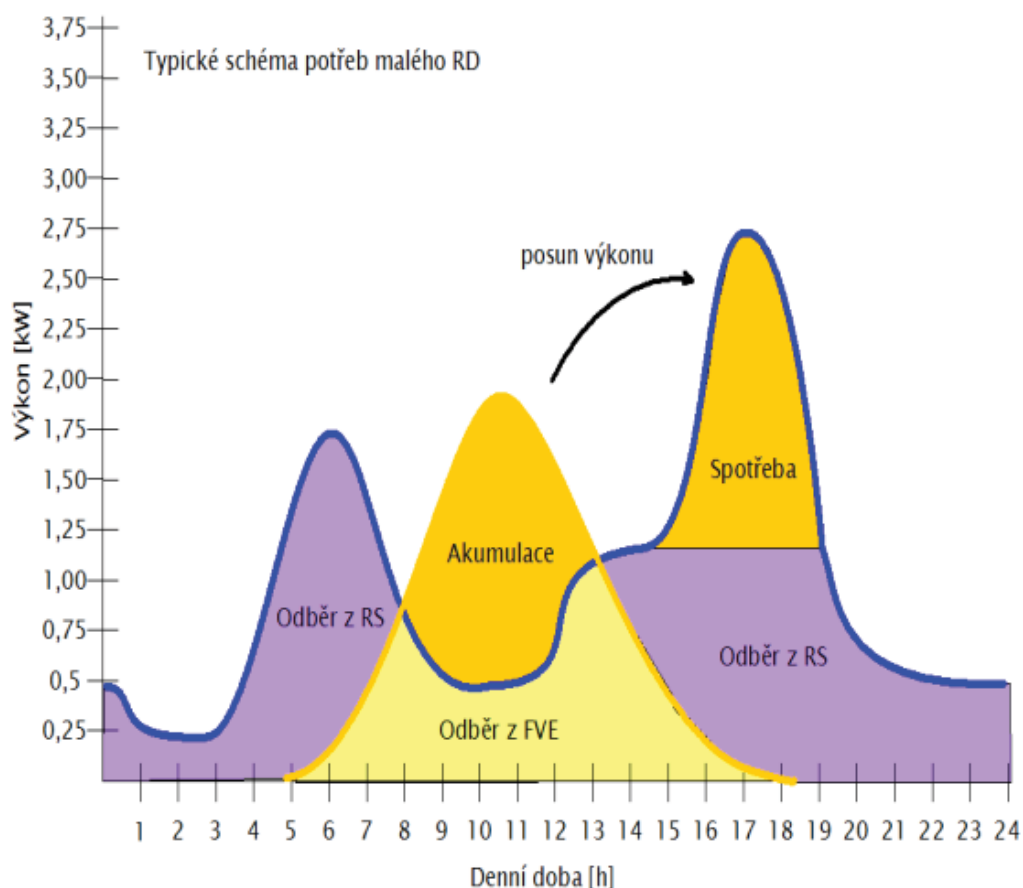
Střídače s transformátorem mají výhodu v tom, že vstup DC a výstup AC je galvanicky oddělený a tím je dosaženo i vyšší bezpečnosti. Nevýhodou jsou však vyšší ztráty, velká hmotnost a rozměry střídače. Střídače s transformátory mají v porovnání se střídači bez transformátorů účinnost cca 1 až 2 % nižší [4].

Střídače bez transformátoru jsou oblíbenější a častěji používané. Mezi jejich hlavní výhody patří vyšší účinnost, pořizovací cena, menší hmotnost a rozměry. Nevýhodou těchto střídačů je přímé propojení DC a AC strany bez galvanického oddělení. Tyto střídače nemohou být použité pro některé tenkovrstvé FV panely [17].

4.3 Akumulátorové uložení

Akumulátorové uložení, tedy baterie jsou určeny ke skladování elektrické energie vyrobené FV panely. V případě ostrovních systémů (grid-off) jsou dokonce nezbytnou součástí. Tím, že FV systém dodává nejvíce vyrobené elektrické energie během dne

(maximum v poledne) a potřeba využití elektrické energie obyvateli RD je zejména v pozdním odpoledni a večer, dochází k přebytku energie během dne, a naopak k nedostatku energie především večer, když slunce už nesvítí. Pro tento případ slouží baterie (akumulátory), které nám v době nadbytku elektrickou energii uschovají na dobu, kdy FV systém nedodává tolik energie, kolik požadujeme odebrat. Dochází k rovnoměrnějšímu využití vlastní vyrobené energie a zvýšení efektivity celého FV systému. Na obrázku 4.10 je znázorněno využití naakumulované energie v bateriích při pozdějším použití, kdy FVE nevyrobí dostatečné množství elektrického proudu.



Obrázek 4.10 Použití baterií u RD [18]

Akumulátor je elektrochemický zdroj elektrické energie, který je schopen dodávat stejnosměrný elektrický proud. Za akumulátor můžeme považovat každý sekundární galvanický článek. Akumulátorový článek se musí skládat minimálně ze tří reaktantů. První reaktant tvoří záporná elektroda (katoda), druhý reaktant vytváří prostředí (u olověných akumulátorů se jedná o elektrolyt) a třetí reaktant tvoří kladná elektroda (anoda). V článku začne docházet k chemické reakci, jakmile dojde k uzavření elektrického obvodu (nabíjení/vybíjení). Při vybíjení elektrický proud prochází od záporné elektrody ke kladné. Při tomto ději dochází k přeměně chemické energie na energii elektrickou do té doby, dokud nejsou aktivní hmoty reaktantů spotřebovány [19].

Při volbě akumulátorového uložení pro FVS je vhodné se zaměřit na důležité parametry jako je kapacita, výkon, hloubka vybití, počet nabíjecích cyklů, životnost ale také i na cenu a záruku výrobce. Jeden z nejdůležitějších parametrů akumulátorů je kapacita, která udává množství energie, kterou je baterie schopna pojmout. Jednotka kapacity se udává v ampérhodinách (Ah), avšak aby bylo možné jednotlivé akumulátory o různých jmenovitých napětích porovnávat mezi sebou, je kapacita uváděná ve watthodinách (Wh), která se určí vynásobením kapacity v Ah jmenovitým napětím. Výkon baterie udává, jak velké výkony lze z baterie získat. Jednotkou je watt (W) nebo kilowatt (kW). Maximální výkon, kterým lze baterii vybíjet nebo nabíjet závisí na vnitřním odporu baterie. Hloubka vybití DOD (Depth of Discharge) udává poměr využití kapacity během vybíjení a hodnotou celkové kapacity, jednotkou je procento (%). Hloubka vybití u baterií má zásadní vliv na jejich celkovou životnost. Obecně platí že, čím hlouběji se baterie nechají vybíjet, tím méně cyklu nabití/vybití zvládnou, tzn. sníží se kapacita a tím se zkrátí jejich životnost [20].

Nejvhodnější akumulátory pro fotovoltaické elektrárny jsou:

- a) Olověné akumulátory
- b) Lithiové akumulátory

Tabulka 4.2 Porovnání základních parametrů olověných a lithiových akumulátorů [6]

| | Olovo | Li-Ion | LiFeYPO₄ |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|
| Pracovní rozsah | 65 – 100 % | 5 – 85 % | 0 – 100 % |
| Cyklická životnost | cca 500 - 800 | cca 3000 | cca 8000 |
| Účinnost nabíjecího cyklu | cca 85 % | cca 90 % | cca 99 % |
| Možnost ponechat vybitý aku | NE | ANO | ANO |
| Minimální jmenovitá kapacita | 4 x P _{FV} | 2 x P _{FV} | 2 x P _{FV} |

4.3.1 Olověné akumulátory

Olověné (Pb) akumulátory jsou stále nejčastěji využívané typy akumulátorů. Jejich hlavní výhodou je nízká cena. Naopak jejich velkou nevýhodou je malý počet cyklů nabíjení, tedy malá životnost a také malá hloubka vybití cca 65 %. Vhodné použití těchto akumulátorů je zejména u malých ostrovních FVS, jako je malá chata na víkendový pobyt apod. Olověné akumulátory jsou snadno recyklovatelné [6].

Olověný akumulátor se skládá z nádoby, ve které se nachází vodný roztok (elektrolyt) kyseliny sírové (H₂SO₄) o hustotě 1,2 až 1,3 g/cm³. Do tohoto elektrolytu jsou vloženy dvě elektrody odlité z čistého olova. Kladné elektrody mají tvar mříží, které jsou plněny pastou nebo jsou žebrované. Záporné elektrody mají také tvar mříží a jsou plněny pastou. Jedna deska je vyplněna oxidem olovičitým (PbO₂) a druhá houbovým olovem. Většinou se používá více desek, které nejsou od sebe daleko vzdáleny. Desky stejného typu jsou spojeny a jsou řazeny střídavě [19].

Při vybíjení se mění koncentrace elektrolytu, protože vzniká voda a koncentrace kyseliny sírové klesá (při nabíjení je tomu naopak). Nabíjení akumulátoru lze kontrolovat podle hustoty kyseliny. Jestliže dochází k přebíjení (akumulátor je nabitý a jeho nabíjení stále pokračuje), dochází na olovené elektrodě ke vzniku vodíku a na elektrodě s PbO_2 vzniká kyslík. Jmenovité napětí článku je 2 V [19].

Nejnovější typy olovených akumulátorů jsou v řadě případů bezúdržbové, nemusí se do nich dolévat destilovaná voda. Při nabíjecím cyklu je na jedné elektrodě vylučován kyslík a na druhé vodík, se kterým se zpět přemění na vodu. Také tyto akumulátory mají ochranu proti vznikajícím plynům, který vzniká při přebíjení. Baterie obsahují ventil nebo také řízený ventil, který v případě vzniku přebytku plynu ventil otevře a plyn odpustí. Dalším typem je akumulátor s gelovým elektrolytem, který se skládá z kyseliny sírové (H_2SO_4) smíchané s částicemi skelného prachu. Gelové akumulátory jsou bezpečnější a pohodlnější pro obsluhu i údržbu [19].

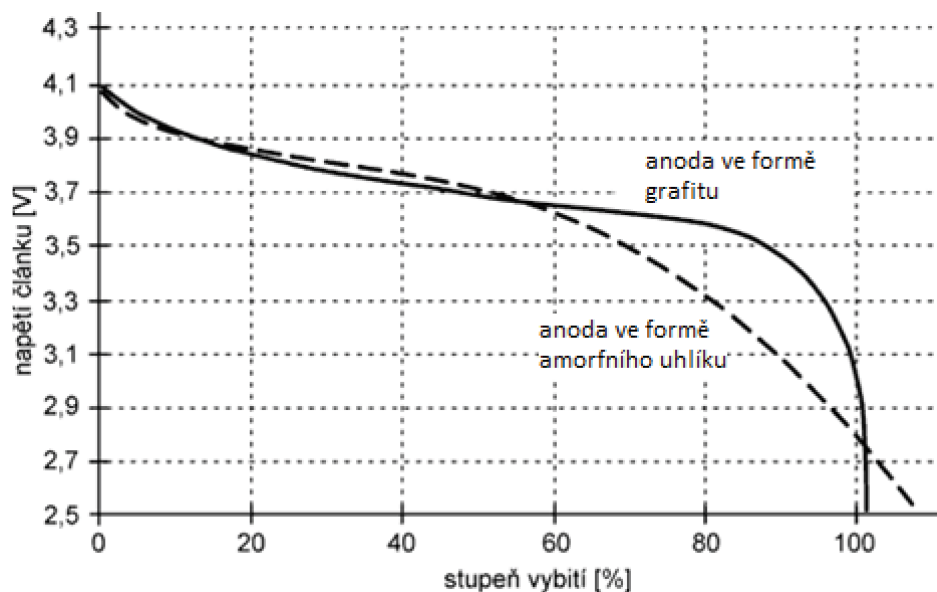
4.3.2 Lithiové akumulátory

Baterie LiFePO_4 (lithium-železo-fosfátové), resp. LiFeYPO_4 (s dopováním Yttriem) využívají vysoké chemické reaktivity lithia. Největší výhodou těchto akumulátorů je jejich životnost, která se pohybuje v rozmezí 4000 až 8000 nabíjecích/vybíjecích cyklů. V ideálních podmínkách životnost baterie je přes 20 let. V reálných podmínkách se udává životnost do 15 let. Akumulátory LiFePO_4 stárnou rovnoměrně, pomaleji a mají lineární průběh stárnutí. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena a vyšší nároky na správnou funkci podpůrné nabíjecí elektroniky (baterie jsou citlivé na přebíjení). Baterie jsou prakticky bezúdržbové a jsou schopné pracovat při nízkých teplotách až do $-45\text{ }^\circ\text{C}$ [6].

Základní článek má jmenovité napětí 3,2 V. Sériový spojením jednotlivých článků dosáhneme požadovaného napětí. Použití těchto akumulátorů je vhodné zejména tam, kde je potřeba velký počet nabíjecích cyklů. Obvyklou oblastí využití jsou ostrovní fotovoltaické elektrárny. Akumulátory je možné nabíjet i vybíjet velkými proudy. Mají nízké samovybíjení, je možné je úplně vybit a vybité nechat několik dnů, aniž by to mělo zásadní vliv na jejich životnost. [6].

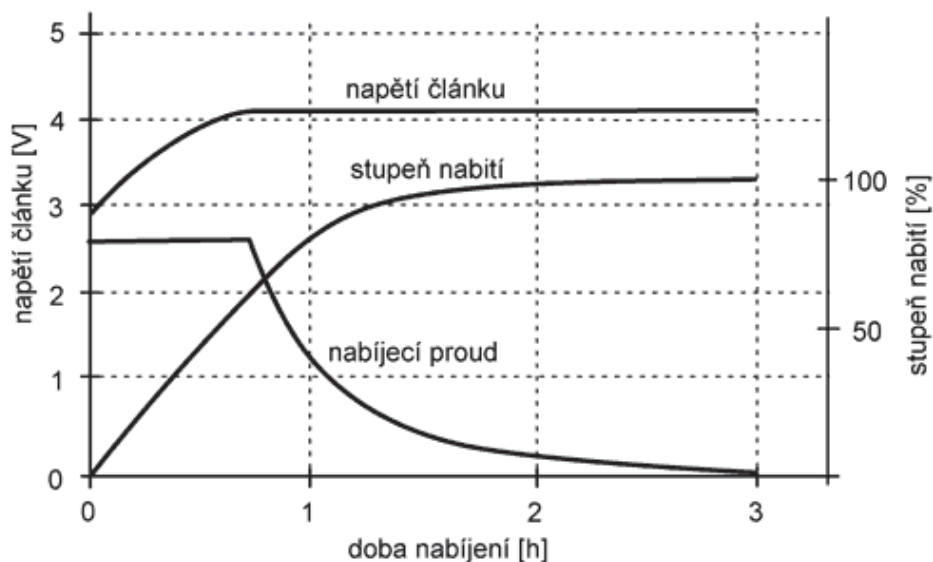
Baterie Li-Ion (lithium iontové) jsou především určeny pro použití v malých a středních instalacích. Součástí každého akumulátoru je implementována ochrana obvodu BMS (Battery Management System), který chrání akumulátor. BMS zajišťuje ochranu akumulátoru proti přebíjení, podbití, zkratu, nadproudu a také má i ochranu proti přehřátí. U těchto akumulátorů se neprojevuje paměťový efekt, vhodné jsou zejména pro použití ve fotovoltaických systémech na úrovni 24 V. Maximální vybíjecí proud je 180 A.

Existují dva typy Li-Ion akumulátorů, které se liší pouze zápornou elektrodou (anodou). V obou případech se anoda skládá z uhlíku, v jednom případě jako amorfní uhlík, v druhém případě ve formě grafitu. Tyto dva typy akumulátorů se liší tvarem vybíjecí charakteristiky (viz obrázek 4.11), nabíjecím napětím a také napětím, při kterém je potřeba ukončit nabíjecí proces [21].



Obrázek 4.11 Vybijecí křivka Li-Ion akumulátorů [21]

Akumulátory Li-Ion se běžně nabíjejí napěťovým zdrojem s omezením nabíjecího proudu. Při nabíjení je důležité dodržet konečné nabíjecí napětí. Již malé překročení nabíjecího napětí zkracuje životnost článku, naopak při menším napětí se článek nenabije na plnou kapacitu. Nabíjecí proces začíná tak, že článkem prochází proud, dokud napětí článku nedosáhne konečného nabíjecího napětí. V tomto okamžiku je článek nabitý na cca 70 %. Poté se článek nabíjí konstantním napětím a nabíjecí proud se postupně zmenšuje až k nule. Nabíjecí charakteristiku můžeme vidět na obrázku 4.12.



Obrázek 4.12 Nabíjecí charakteristika Li-Ion akumulátoru [21]

5. LEGISLATIVA ČR

5.1 Energetický zákon

Zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), je základním právním předpisem energetického odvětví v České republice. Zákon nabyl účinnosti 1. ledna 2001, kde za svou dobu prošel několika novelizacemi. Do tohoto zákona jsou implementovány jednotlivé právní předpisy Evropské unie.

Do roku 2015 pro připojení FVE k distribuční síti byla nutná licence vydaná energetickým regulačním úřadem (ERÚ) a tento systém byl posuzován jako provádění podnikatelské činnosti. Poté byla vydána novela energetického zákona (§ 3 odst. 3 zák. č. 458/2000 Sb.), podle které není potřeba pro provoz výroby elektřiny pro vlastní spotřebu s instalovaným výkonem do 10 kW licence ERÚ. Jedinou podmínkou je, že ve stejném odběrném místě nesmí být připojená jiná výrobní elektrická energie, která je provozovaná s licencí vydanou ERÚ [22].

5.2 Zjednodušení provozování domácích FVE do 10 kW

Možnost zjednodušeného připojení bylo vydáno vyhláškou o připojování č. 16/2016 Sb 1. února 2016. U domácích výroben FVE do výkonu 10 kW (včetně), se jmenovitým střídavým fázovým proudem do 16 A na fázi a připojených k distribuční síti není zapotřebí licence ERÚ, což snižuje nároky na administrativní činnost. Jedná se o tzv. mikro zdroje, které musí být vybaveny zařízením zamezující dodávce elektřiny do distribuční sítě v místě připojení. Výjimkou jsou krátkodobé přetoky do distribuční sítě, které slouží pro reakci omezujícího zařízení, které ale nezvýší hodnotu napětí v místě připojení. Žadatel o připojení k distribuční síti musí provést na vlastní náklady měření impedance v místě připojení, a to postupem podle normy ČSN 33 15 00. Hodnota impedance proudové smyčky je pro zdroje do 16 A na fázi 0,47 Ω a pro zdroje do 10 A na fázi 0,75 Ω [22].

Cenové rozhodnutí ERÚ č. 7/2015 stanovuje ceny za související službu v elektroenergetice a další regulované ceny v bodu 3.28. písm. d) říká, jaké pokuty bude platit provozovatel mikro zdroje, pokud v rozporu s vyhláškou dodá nějakou elektřinu do distribuční sítě, viz tabulka 5.1.

Příjmy z prodeje elektřiny vyrobené ve výrobně do 10 kW (které neslouží k podnikání) a provozované v souladu se zákonem bez licence, nebude příjem brán jako příjem z podnikání. Tento příjem bude spadat podle zákona č. 586/1992 Sb., o daních z příjmů do kategorie ostatních příjmů. Aby se nejednalo o neoprávněnou dodávku, musí být uzavřena smlouva s obchodníkem, který vyrobenou elektřinu odebere a převezme odpovědnost za odchylku, u nichž dochází v důsledku dodávky přetoků. Díky této novele

bude možné inkasovat za nespotřebované přebytky elektřiny peněžní příjem bez nutnosti stát se podnikatelem [22].

5.3 Varianty připojování výroby do 10 kW

FVE lze provozovat bez připojení k DS jako tzv. ostrovní systém. Pro připojení FVE k distribuční síti existují dva možné způsoby:

- Zjednodušený režim – připojování tzv. mikrozdrojů, neumožňuje prodej přetoků.
- Standartní režim – umožňuje prodej přetoků do sítě.

5.3.1 Připojení mikrozdroje (do 10 kW, bez přetoků)

Jedná se o zjednodušený proces připojení k distribuční síti, ke kterému není potřeba licence vydávaná ERÚ. Je potřeba investovat do zařízení, které brání přetokům vyrobené elektřiny do distribuční sítě. Pokud by došlo i přes všechna opatření k dodávce do DS, bude provozovateli výroby elektrické energie uložena pokuta dle cenového rozhodnutí ERÚ, viz tabulka 5.1. K zahájení provozu mikrozdroje je potřeba pouze dodatek ke stávající smlouvě o připojení odběrného místa k soustavě [6] [22].

Tabulka 5.1 Pokuty za přetoky z mikrozdrojů do distribuční sítě [22]

| Hodnota překročení rezervovaného výkonu | Pokuta [Kč/kW/měsíc] |
|--|----------------------|
| Do 2,5 % včetně z instalovaného výkonu výroby v odběrném místě | 36 Kč |
| Od 2,5 % do 5 % včetně z instalovaného výkonu výroby v odběrném místě | 72 Kč |
| Od 5 % do 10 % včetně z instalovaného výkonu výroby v odběrném místě | 145 Kč |
| Od 10 % z instalovaného výkonu výroby v odběrném místě | 1 449 Kč |

5.3.2 Připojení ostatních výroben do 10 kW bez licence (s přetoky do DS)

Jedná se o plné připojení výroby elektrické energie instalovaného výkonu k DS (nevyužije se zde zjednodušený postup připojení jako u mikrozdroje). U tohoto připojení není potřeba řešit opatření proti vzniklým přetokům do DS. Případné přetoky jsou inkasovány za tržní cenu smlouvenou s obchodníkem. Příjem za prodej elektřiny podle zákona o daních z příjmů se zdaní jako „ostatní příjem“ [22].

Provozovatel tedy nepotřebuje licenci, potřebuje pouze smlouvu o připojení k distribuční síti a dohodu s obchodníkem, který na sebe převezme odpovědnost za

odchylku vzniklou při dodávkách přetoků. Také se obchodník zaváže k placení ceny za dodanou vykoupenou elektřinu (v praxi tato částka bývá velmi malá) [22].

5.3.3 Připojení výroben do DS, provozovaných na základě licence

Jedná se o výrobu s výkonem do 10 kW, která dodává veškerou vyrobenou elektrickou energii do distribuční sítě a inkasuje za ní tržní cenu elektřiny. Ekonomicky tato varianta nedává žádný smysl, neboť návratnost celého systému by byla mnohem delší, než je životnost celé FVE [22].

Provozovatel výroby by musel mít licenci, protože výroba a prodej elektřiny v takovémto případě je brán jako podnikatelská činnost. Také by musel absolvovat celý proces žádosti o připojení k DS [22].

5.3.4 Ostrovní systém

Výrobna elektrické energie není připojená k DS a veškerá vyrobená elektřina je spotřebována provozovatelem FVE. Pro ostrovní systém není potřebná licence ERÚ, nejedná se tedy ani o podnikatelskou činnost, protože elektřina není dále prodávána. Toto platí pro všechny ostrovní systémy bez omezení celkového výkonu [22].

6. DOTAČNÍ PROGRAM NOVÁ ZELENÁ ÚSPORÁM

Nová zelená úsporám (NZÚ) je dotační program Ministerstva životního prostředí administrovaný Státním fondem prostředí ČR a patří k nejefektivnějším programům v České republice zaměřeným na úspory energií v rodinných a bytových domech. Podporuje snižování energetické náročnosti obytných budov, výstavbu či nákup domu s velmi nízkou energetickou náročností, šetrné a efektivní využití zdrojů energie a v neposlední řadě také podporuje obnovitelné zdroje energie (OZE) [23].

Hlavním cílem programu je zlepšit stav životního prostředí snížením produkcí emisí a skleníkových plynů (zejména CO₂). Dalším cílem je dosáhnout úspory energie v konečné spotřebě a stimulovat ekonomiku ČR s dalšími sociálními přínosy, kterými jsou např. zvýšení kvality bydlení občanů, zlepšení vzhledu měst a obcí, nastartování dlouhodobých progresivních trendů.

Program NZÚ 3. výzva Ministerstva životního prostředí k podávání žádostí o poskytnutí podpory pro rodinné domy byla zahájena 22. října 2015 a trvá do vyčerpání alokace (17,2 mld. Kč), nejpozději však do 31. prosince 2021 [23].

6.1 Oblasti podpory pro rodinné domy

6.1.1 Oblast A – Snižování energetické náročnosti stávajících rodinných domů

V této oblasti jsou podporovány opatření prováděná na obálce budovy, která vedou ke snížení energetické náročnosti stávajících RD. Jedná se zejména o zateplení obvodových či vnitřních konstrukcí a výměny výplní stavebních otvorů (oken, dveří) [24].

6.1.2 Oblast B – Výstavba nebo nákup nového rodinného domu s velmi nízkou energetickou náročností

V této oblasti je podporována výstavba nebo nákup RD s velmi nízkou energetickou náročností [24].

6.1.3 Oblast C – Efektivní využití zdrojů energie

V této oblasti jsou podporovány opatření, které zajistí efektivnější využití energie v RD. Zejména se jedná o podporu výměny původních hlavních zdrojů tepla pro vytápění jako jsou kotle na tuhá paliva nedosahující parametrů 3. emisní třídy, výměna elektrického vytápění za systém s tepelným čerpadlem apod. Dále se podpora vztahuje na instalaci solárních termických a fotovoltaických systémů, instalaci systémů řízeného větrání se zpětným získáváním tepla, využití tepla z odpadní vody [24].

6.1.4 Podoblast C.3 – Instalace solárních termických a fotovoltaických systémů

V této podoblasti je podporována instalace solárních termických a fotovoltaických systémů do dokončených RD a do novostaveb RD (včetně rozestavěných).

O podporu může vlastník domu požádat na jeden RD nebo v něm vymezenou bytovou jednotku, a to pouze jednou za dobu trvání Programu. Výjimkou je kombinace solárního systému určeného pro ohřev teplé vody (podoblasti podpory C.3.1/C.3.2/C.3.3) s fotovoltaickým systémem s akumulací elektřiny výhradně do akumulátorů (podoblast podpory C.3.5/C.3.6/C.3.7) [24].

Podmínky podoblastí podpory C.3.1 a C.3.2 – solární termické systémy

Podporovány jsou systémy na přípravu teplé vody (podoblast C.3.1) a systémy na přípravu teplé vody a přitápění (podoblast C.3.2), a to pouze solární termické kolektory splňující minimální hodnotu účinnosti η_{sk} dle vyhlášky 441/2012 Sb. Podmínkou pro poskytnutí dotace v těchto podoblastech (C.3.1 a C.3.2) je dosažení parametrů, viz tabulka 6.1 [24].

Tabulka 6.1 Požadované parametry v podoblastech podpory C.3.1 a C.3.2 [24]

| Sledovaný parametr | Označení [jednotky] | C.3.1 | C.3.2 |
|--|---|---------------|---------------|
| Vypočtený celkový využitelný zisk solární soustavy | $Q_{ss,u}$ [kWh.rok ⁻¹] | bez požadavku | ≥ 2200 |
| Vypočtený měrný využitelný zisk solární soustavy | $Q_{ss,u}$ [kWh.m ⁻² .rok ⁻¹] | ≥ 350 | ≥ 280 |
| Minimální pokrytí potřeby tepla na přípravu teplé vody | [%] | 50 | bez požadavku |
| Minimální měrný objem akumulačního zásobníku tepla vztahený k celkové ploše apertury | [l.m ⁻²] | 45 | 45 |

Podmínky podoblasti podpory C.3.3 – fotovoltaické systémy pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem

Podporovány jsou systémy na přípravu teplé vody s přímým ohřevem, kde instalovaný FVS musí být vybaven technologií MPPT. Minimální účinnost celého FV modulu při STC musí být pro moduly složené s monokrystalických/polykrystalických článků 15 %, pro moduly z tenkovrstvých amorfních článků 10 % a pro FV střešní krytiny, fasádní systémy apod. (jiné než plošné kolektory) není požadavek na minimální účinnost. Instalovaný systém nesmí být spojen s distribuční soustavou. Podmínkou pro poskytnutí dotace v této podoblasti (C.3.3) je dosažení parametrů, viz tabulka 6.2 [24].

Tabulka 6.2 Požadované parametry v podoblasti podpory C.3.3 [24]

| Sledovaný parametr | Označení [jednotky] | C.3.3 |
|---|---------------------|-----------|
| Minimální pokrytí potřeby tepla na přípravu teplé vody | [%] | 50 |
| Minimální měrný objem akumulčního zásobníku tepla vztažený k instalovanému výkonu solárního systému | [$l.kW_p^{-1}$] | ≥ 80 |

Podmínky podoblasti podpory C.3.4, C.3.5, C.3.6, C.3.7, C.3.8 a C.3.9 – fotovoltaické systémy propojené s distribuční soustavou

Podpora se poskytuje pouze na nové systémy propojené s distribuční soustavou, jejichž výkon nesmí být vyšší než $10 kW_p$. Systém musí být umístěn na stavbě evidované v katastru nemovitostí. Dále musí být systém vybaven měničem s minimální účinností 94 % (Euro účinnost). Měniče a nabíječe musí být vybaveny technologií MPPT s minimální účinností přizpůsobení 98 %. U měničů určených k přeměně stejnosměrného napětí z elektrických akumulátorů na střídavé napětí (hybridní měniče) používané ve vnitřních rozvodech se připouští minimální účinnost 92 %. Minimální účinnost celého FV modulu při STC musí být pro moduly složené s monokrystalických/polykrystalických článků 15 %, pro moduly z tenkovrstvých amorfních článků 10 % a pro FV střešní krytiny, fasádní systémy apod. (jiné než plošné kolektory) není požadavek na minimální účinnost. Není povoleno použití olověných startovacích akumulátorů a Ni-Cd akumulátorů [24].

Míra využití vyrobené elektřiny v místě výroby musí být alespoň 70 % z celkového teoretického zisku systému, kde celkový teoretický zisk zohledňuje klimatická data, parametry FV modulů včetně orientace ke světovým stranám, ztráty v rozvodech, parametry měniče a další komponenty [24].

Systémy v podoblasti podpory C.3.4 a C.3.9 musí umožnit akumulaci přebytků energie ve formě tepelné energie. Objem instalovaného zásobníku musí být odpovídající k předpokládané spotřebě teplé vody s dostatečnou rezervou pro akumulaci. Pro podoblast C.3.4 je minimální objem zásobníku 120 litrů, pro podoblast C.3.9 je minimální objem 200 litrů [24].

Systémy v podoblastech C.3.5, C.3.6 a C.3.7 musí umožnit akumulaci přebytků ve formě elektrické energie. Minimální měrná kapacita akumulátoru (na bázi olova, Ni-MH, Ni-Fe) je $1,75 kWh.kW_p^{-1}$ instalovaného výkonu. U moderních technologií akumulátorů (Li-Ion, LiFePO₄, LiFeYPO), které umožňují vysoký počet hlubokých vybíjecích cyklů bez výrazné ztráty kapacity lze uvažovat se sníženým požadavkem na minimální měrnou kapacitu akumulátoru, nejméně však $1,25 kWh.kW_p^{-1}$ [24].

Podmínkou pro poskytnutí dotace v těchto podoblastech (C.3.4, C.3.5, C.3.6, C.3.7) je dosažení parametrů, viz tabulka 6.3.

Tabulka 6.3 Požadované parametry v podoblastech podpory C.3.4, C.3.5, C.3.6, C.3.7 [24]

| Sledovaný parametr | Označení jednotky | C.3.4 | C.3.5 | C.3.6 | C.3.7 |
|---|--|---------|-----------|-----------|-----------|
| Celkový využitelný zisk | $Q_{FV,u}$ [kWh.rok ⁻¹] | ≥ 1700 | ≥ 1700 | ≥ 3000 | ≥ 4000 |
| Minimální míra využití vyrobené elektřiny pro krytí spotřeby v místě výroby | [%] | 70 | 70 | 70 | 70 |
| Akumulace přebytků energie do teplé vody | - | Povinná | Možná | Možná | Možná |
| Minimální objem zásobníku teplé vody nebo akumulární nádrže | [l] | 120 | - | - | - |
| Akumulace přebytků energie do elektrických akumulátorů | - | Možná | Povinná | Povinná | Povinná |
| Minimální měrná kapacita akumulátorů | [kWh.kW _p ⁻¹] | - | 1,75/1,25 | 1,75/1,25 | 1,75/1,25 |

Výše podpory pro podoblast podpory C.3

Maximální výše dotace, které můžeme dosáhnout pro instalaci fotovoltaického systému je 150 000 Kč, viz tabulka 6.4, kde jsou uvedeny výše podpor jednotlivých podoblastí. Celková výše podpory na jednu žádost je omezena na max. 50 % řádně doložených způsobilých výdajů, tzn. kdyby cena FV systému s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem ≥ 4 MWh.rok⁻¹ cenově vyšla na 150 000 Kč, můžeme čerpat dotaci v maximální výši 75 000 Kč.

K této podpoře z podoblasti C.3 je možné současně žádat o podporu z podoblasti C.5, která se vztahuje na podporu na zpracování odborného posudku a zajištění měření průvzdušnosti obálky budovy. Maximální výše podpory v této podoblasti činí 5 000 Kč, a to i v případě, kdy je žádáno na více opatření z oblasti podpory C [24].

Tabulka 6.4 Výše podpory v podoblasti C.3 [24]

| Podoblast podpory | Typ systému | Výše podpory [Kč] |
|--------------------------|--|--------------------------|
| C.3.1 | Solární termický systém na přípravu teplé vody | 35 000 |
| C.3.2 | Solární termický systém na přípravu teplé vody a vytápění | 50 000 |
| C.3.3 | FV systém pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem | 35 000 |
| C.3.4 | FV systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem $\geq 1700 \text{ kWh.rok}^{-1}$ | 55 000 |
| C.3.5 | FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 1700 \text{ kWh.rok}^{-1}$ | 70 000 |
| C.3.6 | FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 3000 \text{ kWh.rok}^{-1}$ | 100 000 |
| C.3.7 | FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 4000 \text{ kWh.rok}^{-1}$ | 150 000 |

Pozn.: pro Karlovarský, Moravskoslezský a Ústecký kraj platí +10 % navýšení dotace

7. ANALÝZA OBJEKTU PRO INSTALACI FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU

7.1 Lokalita rodinného domu

Rodinný dům se nachází v obci Krhová u Valašského Meziříčí ve Zlínském kraji (okres Vsetín) v nadmořské výšce kolem 340 m n.m. Dům je situován v rozptýlené zástavbě tzn., že sousední objekty jsou v dostatečné vzdálenosti a minimálně tak zabraňují dopadajícímu slunečnímu záření na střechu analyzovaného rodinného domu. Jelikož má dům dvě nadzemní podlaží a podkroví, výška hřebene střechy se nachází 10 metrů nad úrovní okolního terénu. Díky tomu zde hrozí pouze minimální zastínění jinými objekty (stromy, sloupy elektrického vedení apod.), které jsou v těsné blízkosti domu. Poloha domu je vyobrazena na obrázku 7.1.



Obrázek 7.1 Lokalita rodinného domu [25]

7.2 Analýza rodinného domu

Rodinný dům má střechu sedlového typu ve tvaru L se sklonem 45° . Část střechy, která je natočená na jižní stranu má plochu cca 25 m^2 . Ovšem, kdybychom chtěli použít celou jižní plochu střechy pro FVS, musíme vzít v potaz, že jakmile slunce překročí pravé poledne (okamžik, kdy je slunce nejvýše nad obzorem), štít východní/západní střechy začne částečně vrhat stín na jižní plochu střechy. Tímto by došlo k částečnému zastínění některých FV panelů, a to by mělo za následek značný pokles výkonu celého systému.

Pokud bychom chtěli využít maximální plochu střechy, tedy i získání maximálního výkonu FV elektrárny, je vhodné rozmístit panely na jižní, východní a západní část střechy. Popřípadě rozmístění panelů nakombinovat tak, aby bylo zajištěno optimální využití vyrobené elektrické energie.

Rodinný dům je ve stavu před celkovou rekonstrukcí. Při realizaci nové střechy bude současný komín ve štítu zrušen (používaný komín se nachází na severní straně střechy) a poslouží jako průchod (stupačky) pro kabely od FV modulů do sklepních prostor, kde se bude nacházet technická místnost, která bude tvořit srdce FV systému. Bude zde umístěn měnič, akumulátory a další potřebné příslušenství.

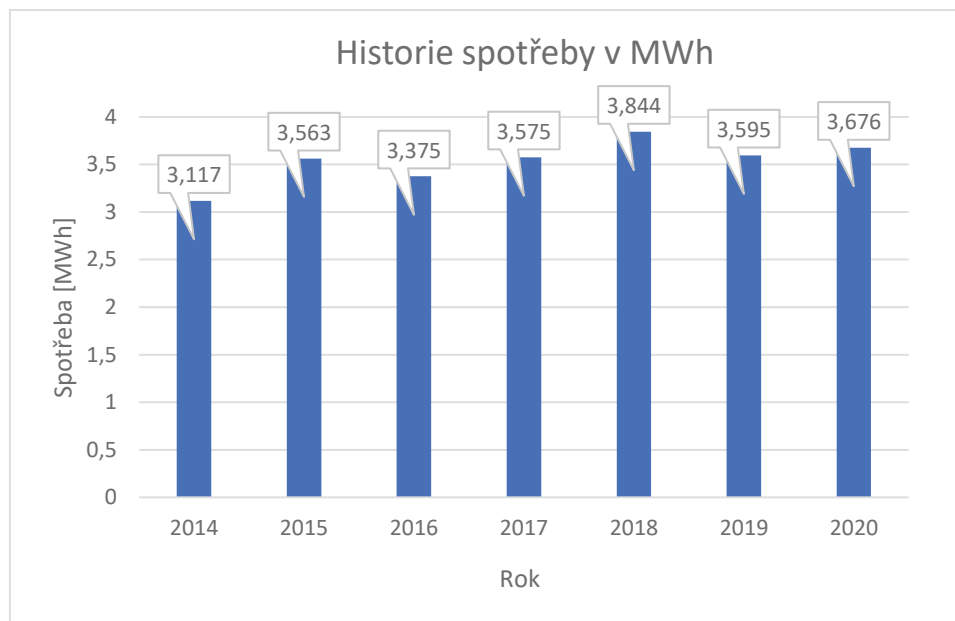


Obrázek 7.2 Rodinný dům - pohled na jižní a východní část střechy [25]

7.3 Spotřeba elektrické energie v objektu

Vytápění rodinného domu je řešeno pomocí kotle na tuhá paliva. Pro ohřev teplé užitkové vody slouží kombinovaný bojler o objemu 200 litrů, který je během topné sezóny vytápěn kotlem na tuhá paliva, mimo sezónu (přes léto) je vyhříván topnou patronou pomocí elektřiny. V domácnosti se nachází běžné elektrické spotřebiče jako je lednice, mrazák, trouba, varná konvice, mikrovlnná trouba, pračka, žehlička, televize, počítač a ostatní méně používané elektro spotřebiče.

Analýza průměrné roční spotřeby elektrické energie v tomto objektu byla udělána pomocí ročních vyúčtování. Na obrázku 7.3 můžeme vidět jednotlivé roční spotřeby elektrické energie mezi lety 2014 až 2020. Průměrná roční spotřeba v posledních 7 letech se pohybuje kolem 3,5 MWh. Z toho vyplývá, že průměrná měsíční spotřeba je přibližně 300 kWh. Pro detailnější analýzu spotřeby elektrické energie by bylo vhodné změřit spotřebitelský profil energie minimálně v hodinovém intervalu.



Obrázek 7.3 Historie spotřeby elektřiny RD

Spotřeba elektrické energie na ohřev 200 litrového bojleru je odhadem 7 kWh/den. Při výpočtu podle rovnice (7.1) byla výchozí teplota v bojleru stanovena na 35 °C, která byla následně ohřáta na teplotu 65 °C.

Výpočet potřebné energie pro ohřev bojleru:

$$E = m \cdot c_{Wh} \cdot (t_1 - t_2), \quad (7.1)$$

$$E = 200 \cdot 1,163 \cdot (65 - 35) = 6,978 \text{ kWh} \approx 7 \text{ kWh},$$

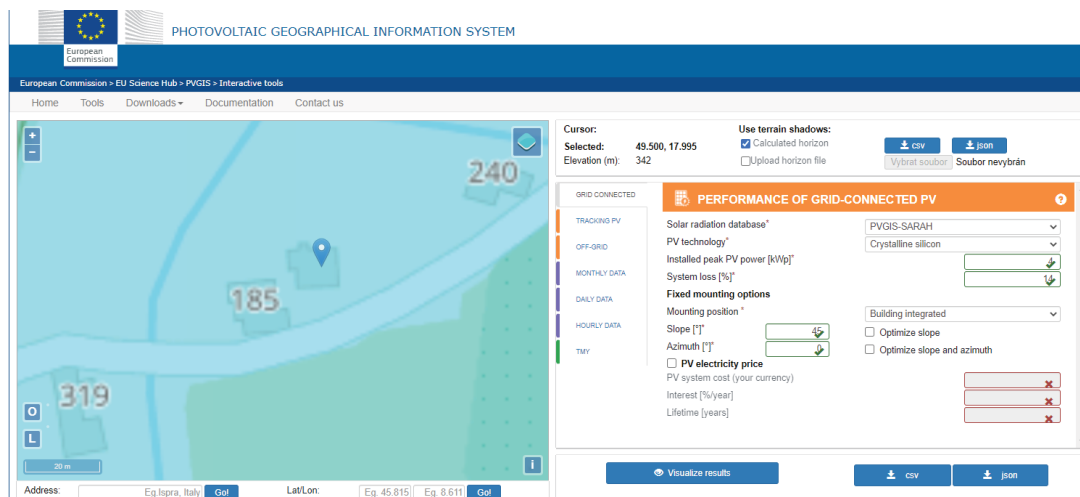
kde m je hmotnost vody [kg], c_{Wh} je měrná tepelná kapacita vody [$\text{Wh} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$], t_1 je výchozí teplota a t_2 je koncová ohřátá teplota vody [K]. Měrná tepelná kapacita vody je $c = 4186 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 1,163 \text{ Wh} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ [27].

Spotřeba elektrické energie na ohřev teplé užitkové vody za měsíc (30 dní) je přibližně 210 kWh. Tato část elektrické energie nebude v zimních měsících použita pro ohřev vody (voda bude vyhřívána společně s objektem kotlem na tuhá paliva). Výhodou je, že výroba elektřiny v tomto období, kdy FVE nedodává tolik elektrické energie jako v letních měsících bude část energie ušetřena pro standartní chod domácnosti.

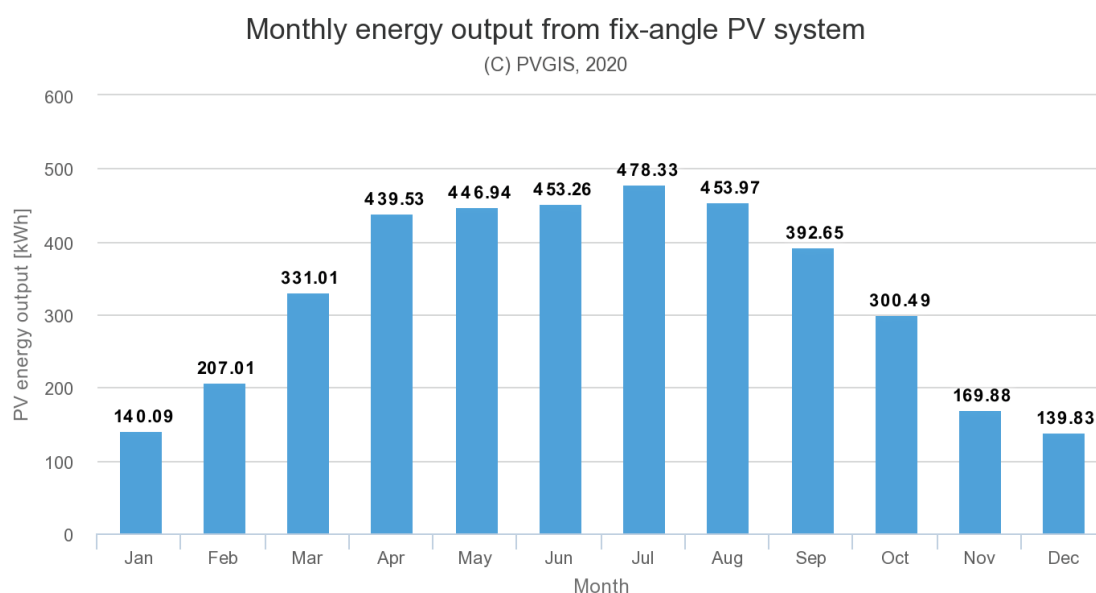
7.4 Orientační výpočet v PVGIS

PVGIS je jednoduchý bezplatný online nástroj na výpočet výtěžnosti elektrické energie fotovoltaických systémů v daném místě určeném na mapě. Pomocí tohoto nástroje můžeme rychle vypočítat (odhadnout), kolik elektrické energie vyrobí FVE v jednotlivých měsících i za celý rok provozu.

Pro výpočet byly zadány následující parametry: Instalovaný výkon křemíkových krystalických FV panelů 4 kW_p se sklonem 45°, orientace na jih, ztráty systému 14 %.



Obrázek 7.4 Zadávání parametrů pro výpočet v PVGIS [26]



Obrázek 7.5 PVGIS - výpočet vyrobené elektrické energie FV systémem [26]

Na obrázku 7.5 je vidět vypočtená vyrobená elektrická energie v jednotlivých měsících. Roční vypočtená FV produkce elektrické energie vychází na 3953 kWh, což by mělo pokrýt spotřebu elektrické energie v tomto domě. V kombinaci s bateriovým úložištěm dojde k zefektivnění využití vyrobené elektřiny.

8. NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY

8.1 Návrhový software PV*SOL

PV*SOL je simulační program pro návrh fotovoltaických systémů s 3D vizualizací a podrobnou analýzou stínování pro výpočet FVS v kombinaci se spotřebiči, bateriovými systémy i elektrickými vozidly. Lze zde naprojektovat od malého střešního systému s několika moduly přes velké systémy na komerčních střechách až po velké rozsáhlé solární elektrárny. Tento návrhový software byl z počátku nejvíce rozšířený v Německu, ale již získává svoji oblibu i v okolních zemích.

Návrhový software používají především projektanti, kteří jsou schopni navrhnout optimální řešení FVS díky rozsáhlé databázi fotovoltaických panelů, střídačů, bateriových systémů a také elektrických automobilů. V současné době databáze zahrnuje přes 21 000 fotovoltaických panelů, 5 100 střídačů a 1 900 bateriových systémů [28]. Databáze je pravidelně aktualizována samotnými výrobci jednotlivých produktů, takže se při návrhu vždy pracuje s nejnovějšími daty.

Výstupem navrhnutého řešení je projektová dokumentace, ve které se nachází náhled rozmístění FV panelů na objektu, údaje o FVS (instalovaný výkon, plocha FV panelů, počet FV panelů, počet měničů), roční výnos elektrické energie a v neposlední řadě finanční analýza, což tvoří důležitý parametr navrhovaného FVS. Projektovou dokumentaci si lze různě konfigurovat a může být do ní zahrnuto např. schéma zapojení včetně bezpečnostních prvků, výkresy s rozmístěním panelů a také katalogové listy použitých prvků (FV panely, měniče, baterie).

8.1.1 Návrh fotovoltaického systému v PV*SOL

Při návrhu FVS v programu PV*SOL musíme nejprve vyplnit základní údaje o jaký typ systému se jedná (FVS připojené do el. sítě, FVS s akumulátory připojený do el. sítě, ostrovní FVS apod.), upřesnit klimatická data, tzn. vybrat lokalitu, kde se daný objekt nachází, zvolit vhodný časový krok simulace (1 hodina nebo 1 minuta) a určit parametry AC sítě (počet fází, účinník $\cos \varphi$).

Dále je potřeba vyplnit spotřebitelský profil elektrické energie. Je zde možnost použít předdefinované zátěžové profily, které byly vytvořeny univerzitou aplikovaných věd – HTW Berlín. Nebo je zde možnost vytvořit si vlastní spotřebitelský profil z naměřených dat. Pokud nechceme využít předdefinované spotřebitelské profily a nemáme k dispozici naměřené hodnoty spotřeby, lze zde také vytvořit spotřebitelský profil pomocí jednotlivých spotřebičů v domácnosti tak, že u každého spotřebiče se uvede spotřeba za den. Program umožňuje nastavit u každého spotřebiče časy provozu, tzn. lze zde určit dny a hodiny, kdy je spotřebič v provozu a mimo provoz.

V dalším kroku se vytvoří 3D vizualizace celého systému. Lze zde jednoduše vytvořit celý dům pomocí předdefinovaných typu budov, jen je potřeba upravit rozměry objektu

a doplnit o prvky, které by mohly mít vliv na FVS (komíny, střešní okna, stromy apod). Pokud máme k dispozici 3D model objektu, lze jej přímo do tohoto návrhové programu importovat, popřípadě je zde možnost načíst satelitní snímek objektu z mapy a následně pomocí nástroje extrudovat z mapy vytvořit 3D objekt.

Pak stačí zvolit část střechy, kde chceme FV moduly instalovat. Z databáze FV modulů vybereme vhodný typ pro naše použití (výrobce, výkon, typ) a rozmístíme je po vybrané ploše střechy. Pomocí výpočtu frekvence zastínění lze moduly rozmístit tak, aby stínící objekty měly co nejmenší vliv na celý FVS.

Následně v záložce konfigurace modulů se vybere vhodná konfigurace panelů a střídačů. Program už sám zjistí, které střídače jsou vhodné k daným FV panelům a je zde možnost si vybrat preferovaného výrobce nebo dokonce i vybrané typy střídačů. Poté program spočítá konfigurace a nabídne vhodná řešení typu sestavy střídače i se zapojením do stringů. Je zde i možnost manuální volby střídače. V další záložce se volí systém baterií, kde je opět možná volba výrobce, typu a kapacity.

Důležitou záložkou je finanční analýza, kde se nastavují pořizovací náklady, dotace, aktuální cena energie, roční inflace energií, výkupní cena atd. Z těchto zadaných hodnot se dozvíme ekonomickou návratnost FVS.

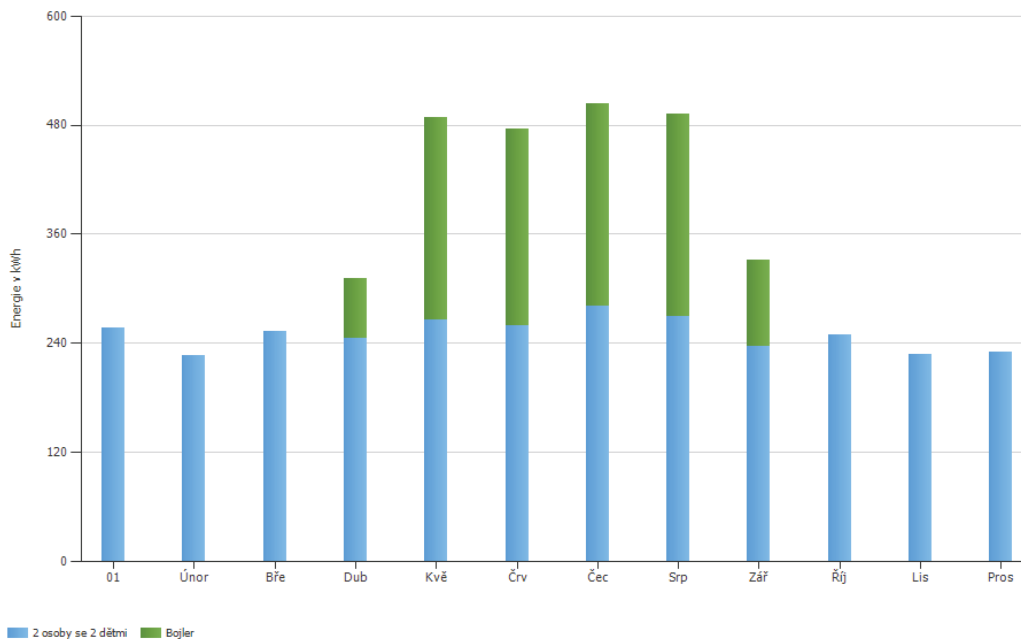
Poslední záložka reprezentuje výsledky navrženého FVS, kde se dozvíme roční produkci elektrické energie, krytí spotřeby, stupeň soběstačnosti, podíl vlastní spotřeby, analýzu hospodárnosti atd.

8.2 Návrh fotovoltaické elektrárny

Pro návrh FVE hraje důležitou roli roční spotřeba elektrické energie, která se pohybuje v tomto případě kolem 3,5 MWh. Proto bude vhodné navrhnout třífázový FVS s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem 4 MWh/rok pro rodinný dům tak, aby bylo možné čerpat plnou výši dotace z podpory podoblasti C.3.7.

8.2.1 Spotřebitelský profil elektrické energie

Důležitým krokem při návrhu FVE je vytvoření spotřebitelského profilu elektrické energie v dané domácnosti. Jelikož spotřeba elektrické energie se může v domě do budoucna měnit v závislosti na počtu žijících osob v domě, dle jejich pracovních vytížeností apod. bude se v tomto návrhu počítat s předefinovaným spotřebitelským profilem elektrické energie pro 2 osoby s 2 dětmi s roční spotřebou elektrické energie 3 000 kWh. Tento spotřebitelský profil počítá s nárůstem spotřeby energií v ranních hodinách, kdy se obyvatelé domu chystají do práce či školy a také s nárůstem spotřeby elektrické energie v odpoledních a večerních hodinách, kdy se obyvatelé naopak vrací domů. Je zde také počítáno s ohřevem teplé vody mimo topnou sezónu, cca od poloviny dubna do poloviny září. Celková roční spotřeba pro návrh FVS počítá se spotřebou 4 044 kWh.



Obrázek 8.1 Spotřebitelský profil použitý pro návrh FVS - zelená „Bojler“; modrá „2 osoby a 2 děti“

8.2.2 Měření spotřeby elektrické energie

Měření spotřeby v České republice u objektů, které jsou připojeny k distribuční síti třífázově probíhá součtově. Tzn., že elektroměr udává hodnotu odebrané energie všech tří fází najednou a nebere v úvahu, ze které fáze bylo odebráno více a ze které méně. Tento způsob měření se používá v případě, pokud odebíráme elektřinu z distribuční sítě.

Ovšem, největší změna nastává v okamžiku, kdy chceme připojit FVS k distribuční síti. V tento okamžik se mění způsob měření spotřeby elektrické energie ze součtového na měření každé fáze samostatně, a musí být tedy provedena výměna elektroměru, který je schopen měřit spotřebu v jednotlivých fázích. Nový vyměněný elektroměr udává hodnotu odebrané/dodané energie v jednotlivých fázích. V případě použití FVS s jednofázovým nebo třífázovým symetrickým střídačem může nastat situace, kdy do jedné fáze nám tečou přetoky vyrobené FVS (dochází k výkupu elektřiny), protože tato fáze je méně vytížená a nemáme zde aktuální odběr, a současně je jiná fáze více vytížená a zde musí docházet i k toku elektřiny z distribuční sítě (dochází k nákupu elektřiny), aby byla pokryta spotřeba v této fázi. Měření po fázích je obrovskou nevýhodou pro majitele FVE, protože cena za dodanou elektřinu se velmi liší od ceny za odebranou elektřinu z distribuční sítě.

Pro lepší pochopení rozdílu součtového měření elektrické energie a měření po fázích si uvedeme jednoduchý příklad. FVS je jednofázový připojený do fáze L_1 s aktuálním výkonem 3000 W. Z fáze L_1 neodebíráme žádný elektrický proud (odebíraný příkon $P = 0$ W). Tedy když to shrneme, do fáze L_1 je dodáváno 3000 W z FVE a odběr v této fázi je 0 W, tudíž veškerá vyrobená elektřina přeteče do distribuční sítě. Z každé fáze L_2

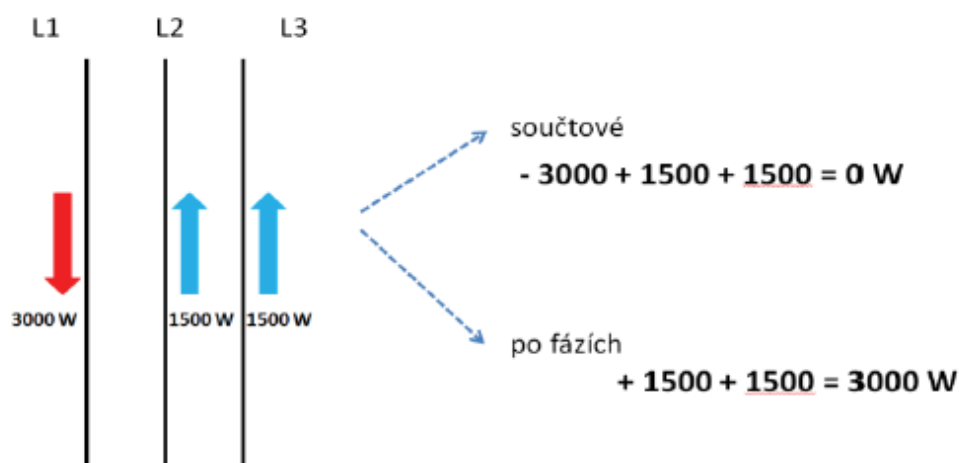
a L_3 odebíráme příkon 1500 W ($P_2 = 1500$ W, $P_3 = 1500$ W). Jelikož FVE je připojená do fáze L_1 a aktuální požadavky na odběr máme ve fázích L_2 a L_3 musí být tato elektřina dodána z distribuční sítě (musí dojít k jejímu nákupu). V případě měření spotřeby součtově se spotřeba v odběrném místě rovná 0 W. Při použití způsobu měření po fázích se spotřeba rovná 3000 W [29]. Na obrázku 8.2 můžeme vidět grafické znázornění obou metod měření, kde červená šipka znázorňuje směr přetoků z FVE (tok energie do DS) a modré šipky znázorňují směr toků energie z distribuční sítě.

Při použití součtového měření:

$$P_{\text{celkem}} = P_1 + P_2 + P_3 = (-3000) + (+1500) + (+1500) = 0 \text{ W}$$

Při použití měření po fázích:

$$P_{\text{celkem}} = P_1 + P_2 + P_3 = (0) + (+1500) + (+1500) = 3000 \text{ W}$$



Obrázek 8.2 Rozdíl měření elektrické energie součtově a po fázích [29]

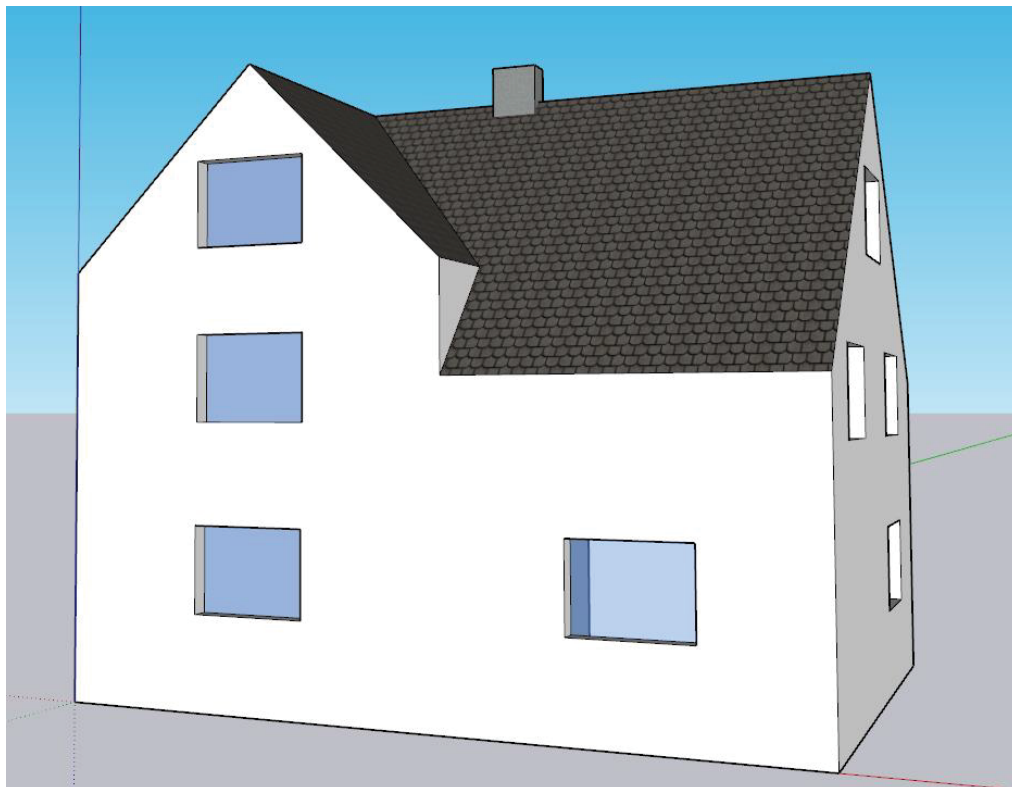
Způsob měření elektrické energie po fázích má zásadní vliv na ekonomickou návratnost celého FVS, protože většina domácností je připojena k DS třífázově a výkupní cena elektrické energie z přetoků se velmi liší od nákupní ceny elektrické energie z distribuční soustavy.

Nejvhodnější je proto použít třífázový asymetrický střídač, aby bylo co nejvíce vyrobené elektrické energie spotřebováno v této domácnosti. Třífázový asymetrický střídač dodá do každé fáze tolik elektřiny, kolik si jednotlivá fáze žádá (pokud ji má k dispozici), tzn. když je jedna fáze více vytížená než ostatní zbylé fáze, je střídač schopen asymetricky rozdělit energii a poskytnout ji ve fázi, kde je zrovna potřebná.

8.2.3 Vytvoření domu pro návrh fotovoltaického systému

Pomocí programu SketchUp byl vytvořen zjednodušený 3D model rodinného domu podle dostupné výkresové dokumentace. Tento model byl následně importován do návrhového programu PV*SOL a byl umístěn na přesnou pozici pomocí načteného satelitního snímku

z mapy. Dále byly vytvořeny tři vzrostlé listnaté stromy, které by mohly způsobovat částečné zastínění FV modulů. Na obrázku 8.3 je vidět 3D návrh domu, na obrázku 8.4 je tento dům umístěn včetně okolních stromů, které by mohly způsobovat částečné zastínění.



Obrázek 8.3 3D model domu vytvořený v programu SketchUp

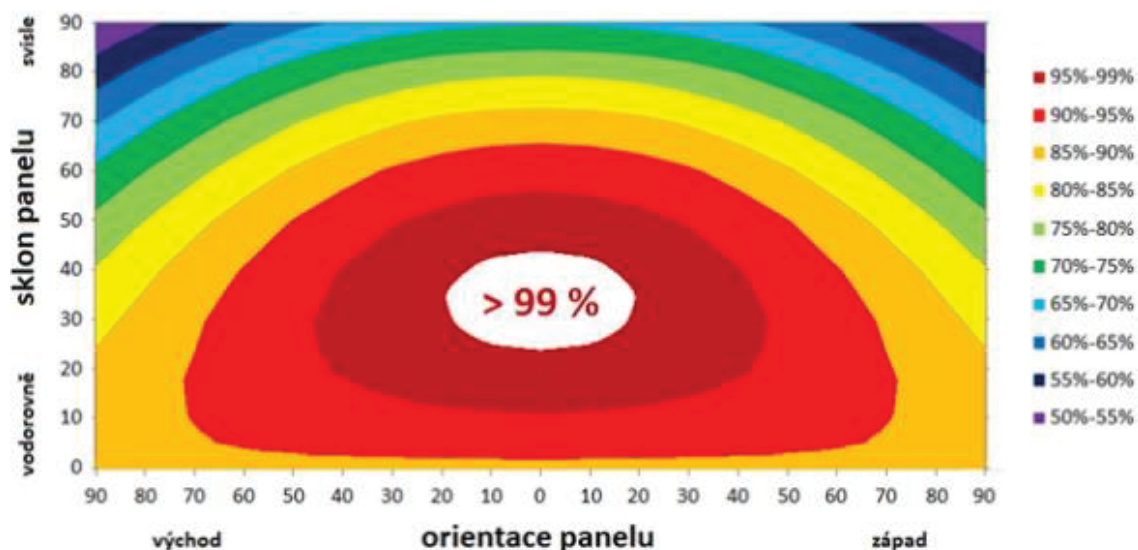


Obrázek 8.4 PV*SOL - umístění domu včetně okolních stromů

8.3 Porovnání rozmístění FV panelů

V ideálním případě je vhodné orientovat FV panely k jihu se sklonem 35°. Ovšem přesný sklon ani orientace panelů razantně neovlivňují celoroční výnos elektřiny, viz obrázek 8.5. Při orientaci střešní plochy $\pm 45^\circ$ od jihu při optimálním sklonu dochází k poklesu celoročního výnosu do 5 %, v případě orientace $\pm 70^\circ$ dochází k poklesu okolo 10 %. Proto lze také vzít v úvahu umístění panelů na východní a západní stranu [30].

Výnos energie v závislosti na sklonu a orientaci panelu



Obrázek 8.5 Výnos elektrické energie v závislosti na sklonu a orientaci FV panelu [30]

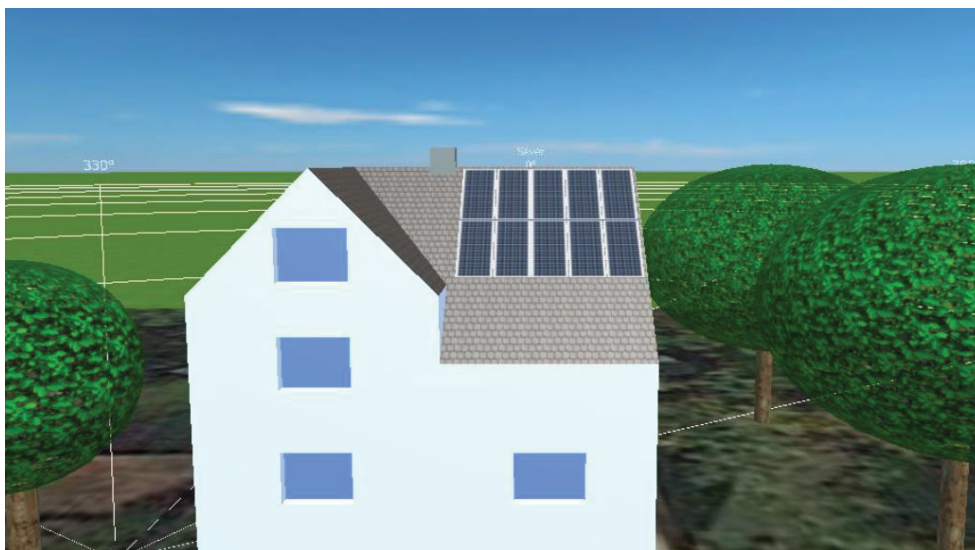
Zde si provedeme porovnání vlivu rozmístění FV panelů na střeše domu, kde v každém návrhu bude použit stejný počet panelů i stejný typ - Axitec AC-400MH/144S o špičkovém výkonu 400 W_p

8.3.1 Rozmístění panelů na jižní stranu střechy

V tabulce 8.1 můžeme vidět dosažené výsledky při tomto rozložení. Na obrázku 8.6 je vyobrazeno umístění 10 kusů FV panelů na jižní části střechy, které jsou zapojeny do dvou stringů.

Tabulka 8.1 Výsledky návrhu FVE umístěné na jižní straně

| | |
|---------------------------|-----------|
| Roční energetický výnos | 4 147 kWh |
| Podíl vlastní spotřeby | 91,9 % |
| Podíl soběstačnosti | 79,1 % |
| Snížení výnosu zastíněním | 4,1 %/rok |
| Návratnost | 9,4 roků |



Obrázek 8.6 FVE 4 kW_p umístěná na jižní straně

8.3.2 Rozmístění panelů na jižní a západní stranu střechy

V tomto návrhu bylo použito 10 ks panelů na jižní a západní části střechy, 5 ks panelů se nachází na jižní straně a 5 ks na západní straně střechy. Použitý střídač je zde GW3600- EH zapojený tak, že panely z každé části střechy mají svůj vlastní string.

Tabulka 8.2 Výsledky návrhu FVE umístěné na jižní a západní straně

| | |
|---------------------------|-----------|
| Roční energetický výnos | 3 802 kWh |
| Podíl vlastní spotřeby | 95,3 % |
| Podíl soběstačnosti | 75,2 % |
| Snížení výnosu zastíněním | 1,4 %/rok |
| Návratnost | 9,9 roků |



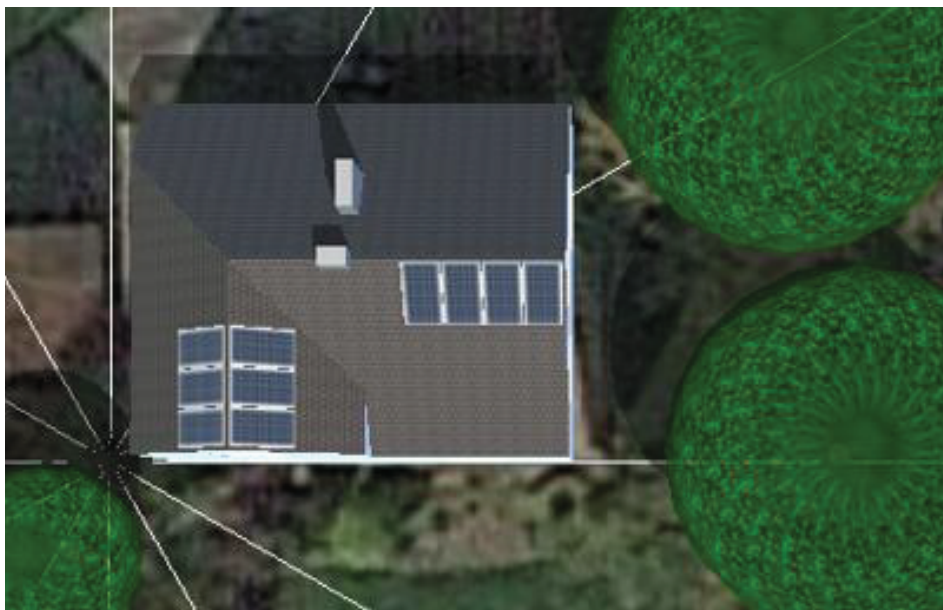
Obrázek 8.7 FVE 4 kW_p umístěná na jižní a západní straně

8.3.3 Rozmístění panelů na jižní, východní a západní stranu střechy

V tomto návrhu byly panely umístěny na jižní (4 ks), východní (3 ks) a západní (3 ks) část střechy o celkovém maximálním výkonu 4 kW_p. Toto řešení obsahuje 2 měniče. První měnič slouží pro panely, které jsou umístěny na jižní části střechy. Druhý měnič slouží pro panely umístěné na východní a západní straně střechy a jsou zapojeny tak, aby každá tato oblast střechy byla zapojena do vlastního stringu.

Tabulka 8.3 Výsledky návrhu FVE umístěné na jižní, východní a západní straně

| | |
|---------------------------|-----------|
| Roční energetický výnos | 3 661 kWh |
| Podíl vlastní spotřeby | 96 % |
| Podíl soběstačnosti | 72,7 % |
| Snížení výnosu zastíněním | 1,2 %/rok |
| Návratnost | 10,2 roků |

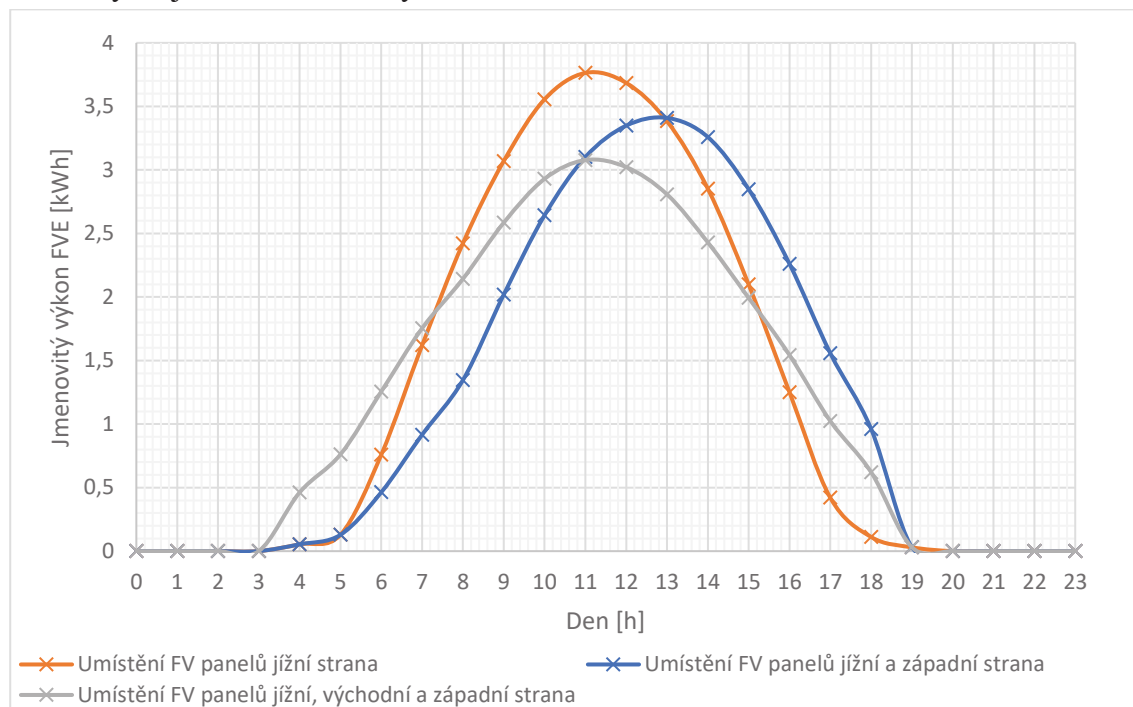


Obrázek 8.8 FVE 4 kW_p umístěná na jižní, východní a západní straně

8.3.4 Zhodnocení rozmístění FV panelů na střeše

Na obrázku 8.9 můžeme vidět srovnání všech tří návrhů FVE podle rozdílného umístění FV panelů. Uvedené průběhy jsou vytvořeny k datu 20. června. Je zde patrné, že největšího jmenovitého výkonu je dosaženo při rozmístění panelů na jižní straně střechy, naopak nejnižšího průběhu jmenovitého výkonu je dosaženo při rozmístění panelů na jižní, východní a západní straně střechy. Sice zde není dosaženo nejvyššího průběhu jmenovitého výkonu, ale FVE je schopna generovat elektrickou energii v ranních a odpoledních hodinách cca o 1,5 hodiny déle, což by bylo vhodné použít, kdybychom měli FVS bez bateriového uložení. Pro FVS s bateriovým uložení je nejvhodnější

použit systém s nejvyšším ročním energetickým ziskem, tedy FV panely, které jsou umístěny na jižní stranu střechy.



Obrázek 8.9 Průběhy jmenovitého výkonu podle rozmístění FV panelů ke dni 20. června

8.4 Návrhy fotovoltaických systému

Pro analyzovaný rodinný dům bylo navrženo několik FVS s bateriovým uložištěm tak, aby bylo možné čerpat dotaci z dotačního programu NZÚ z podoblasti podpory C.3. Návrhy jsou uspořádány podle celkového využitelného ročního zisku FVS, aby bylo možno vždy čerpat dotaci z dané podoblasti podpory, tedy z podoblasti C.3.5, C.3.6 nebo C.3.7 (více o dotačním programu NZÚ v kapitole 6, viz tabulka 6.4).

Ve všech návrzích jsou použité stejné FV panely Axitec AC-410MH/144V, které mají špičkový výkon 410 W_p. V návrzích se počítá s degradací výkonu FV panelů o 0,7 % ročně. U finanční analýzy je vycházeno ze současných cen elektřiny s každoročním zvýšením o 2,5 %. Ceny FVS vychází dle aktuálních cen podle ceníku Innogy.

Návratnosti FV systémů a úspory vzniklé po 30 letech provozu u všech návrhů nepočítají s náklady na údržbu ani s obměnou střídače či akumulátoru během celé životnosti FVE.

Malé FVE s menším výkonem (cca do 4 kW_p) se převážně realizují s jednofázovým hybridním střídačem, protože cena střídače je přibližně poloviční než u řešení s třífázovým střídačem, a tedy i návratnost celého FVS je kratší. Nevýhodou jednofázových elektráren je, že dodávají elektřinu jen do jedné fáze, proto se musí vybrat

vhodná fáze, ve které je připojeno nejvíce silových spotřebičů, aby došlo nejlépe ke spotřebě veškeré vyrobené elektřiny.

Podle výsledků jednotlivých návrhů bude zpracována multikriteriální analýza, ze které bude následně vybrán nejvhodnější FVS pro tento rodinný dům.

8.4.1 Jednofázový fotovoltaický systém s bateriovým uložištěm 2,46 kW_p

První návrh FVS se skládá z 6 kusů panelů umístěných na jižní stranu střechy, které mají celkový špičkový výkon 2,46 kW_p. V návrhu je použit jednofázový hybridní měnič GoodWE 3048-EM s akumulátory o celkové kapacitě 4,8 kWh. Jelikož se jedná o FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem větším než 1700 kWh/rok, je zde možné čerpat dotaci z programu NZÚ z podoblasti C.3.5 v maximální výši 70 000 Kč při splnění podmínek (více viz tabulka 6.3).

Tabulka 8.4 Výsledky návrhu FVE 2,46 kW_p

| | |
|---------------------------------|-----------|
| Roční energetický výnos | 2 511 kWh |
| Přímá vlastní spotřeba | 1 091 kWh |
| Nabíjení baterie | 1 349 kWh |
| Přetoky do distribuční soustavy | 71 kWh |
| Podíl vlastní spotřeby | 97,1 % |
| Podíl soběstačnosti | 52,2 % |
| Návratnost investice | 11,5 roků |

V tabulce 8.4 máme uvedeny všechny důležité parametry navrženého FVS. Můžeme zde vidět, že roční výroba elektrické energie se pohybuje kolem 2,5 MWh, ze které se přímo spotřebuje přibližně 1,1 MWh a do baterií je uloženo kolem 1,3 MWh za rok. Podíl spotřeby vlastní vyrobené elektřiny je vysoký 97,1 %, ovšem stupeň soběstačnosti je pouhých 52,2 %. Návratnost FVS je přes 11 let.

Tabulka 8.5 Finanční kalkulace FVE 2,46 kW_p

| | |
|--------------------------------|-------------------|
| Celková cena (bez dotace) | 227 747 Kč |
| Dotace NZÚ | -75 000 Kč |
| Cena po odečtení dotace | 152 747 Kč |
| Úspory po 30 letech | 321 092 Kč |

V tabulce 8.5 máme uvedený rozpis financí, kde cena FVS vychází na 152 747 Kč po odečtení maximální výše dotace z podoblastí C.3.5 a C.5 ve výši 75 000 Kč. Po 30 letech provozu by mohlo být dosaženo úspory ve výši 321 092 Kč.

8.4.2 Jednofázový fotovoltaický systém s bateriovým uložištěm 3,28 kW_p

Druhý návrh FVS se skládá z 8 kusů panelů umístěných na jižní stranu střechy, které mají celkový špičkový výkon 3,28 kW_p. Také je zde použit jednofázový hybridní měnič GoodWE 3048-EM s akumulátory o celkové kapacitě 4,8 kWh. Jelikož se jedná o FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem větším než 3000 kWh/rok, je zde možné čerpat dotaci z programu NZÚ z podoblasti C.3.6 v maximální výši 100 000 Kč při splnění podmínek.

Tabulka 8.6 Výsledky návrhu FVE 3,28 kW_p

| | |
|---------------------------------|-----------|
| Roční energetický výnos | 3 356 kWh |
| Přímá vlastní spotřeba | 1 276 kWh |
| Nabíjení baterie | 1 785 kWh |
| Přetoky do distribuční soustavy | 295 kWh |
| Podíl vlastní spotřeby | 91,1 % |
| Podíl soběstačnosti | 65,3 % |
| Návratnost investice | 8,6 roků |

V tabulce 8.6 můžeme vidět, že roční výroba elektrické energie se pohybuje kolem 3,4 MWh, ze které se přímo spotřebuje přibližně 1,3 MWh a do baterií je uloženo kolem 1,8 MWh za rok. Podíl spotřeby vlastní vyrobené elektřiny je 91,1 % a stupeň soběstačnosti se nám zvýšil na 65,3 %. Návratnost FVS je 8,6 let.

Tabulka 8.7 Finanční kalkulace FVE 3,28 kW_p

| | |
|--------------------------------|-------------------|
| Celková cena (bez dotace) | 245 133 Kč |
| Dotace NZÚ | -105 000 Kč |
| Cena po odečtení dotace | 140 133 Kč |
| Úspory po 30 letech | 455 991 Kč |

V tabulce 8.7 máme uvedený rozpis financí, kde cena FVS vychází na 140 133 Kč po odečtení maximální výše dotace z podoblastí C.3.6 a C.5 ve výši 105 000 Kč. Po 30 letech provozu by mohlo být dosaženo úspory ve výši 455 991 Kč.

8.4.3 Třífázový fotovoltaický systém s bateriovým uložištěm 4,1 kW_p

Třetí návrh FVS se skládá z 10 kusů panelů umístěných na jižní stranu střechy, které mají celkový špičkový výkon 4,1 kW_p. V tomto návrhu je použit třífázový hybridní měnič GoodWE 5K-ET s akumulátory o celkové kapacitě 7,1 kWh. Jelikož se jedná o FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem větším než

4000 kWh/rok, je zde možné čerpat dotaci z programu NZÚ z podoblasti C.3.7 v maximální výši 150 000 Kč při splnění podmínek.

Tabulka 8.8 Výsledky návrhu FVE 4,1 kW_p

| | |
|---------------------------------|-----------|
| Roční energetický výnos | 4 202 kWh |
| Přímá vlastní spotřeba | 1 405 kWh |
| Nabíjení baterie | 2 424 kWh |
| Přetoky do distribuční soustavy | 373 kWh |
| Podíl vlastní spotřeby | 91,1 % |
| Podíl soběstačnosti | 79,2 % |
| Návratnost investice | 8,5 roků |

V tabulce 8.8 můžeme vidět, že roční výroba elektrické energie se pohybuje kolem 4,2 MWh, ze které se přímo spotřebuje přibližně 1,4 MWh a do baterií je uloženo kolem 2,4 MWh za rok. Podíl spotřeby vlastní vyrobené elektřiny je 91,1 % a stupeň soběstačnosti se nám zvýšil na 79,2 %. Návratnost FVS je 8,5 let.

Tabulka 8.9 Finanční kalkulace FVE 4,1 kW_p

| | |
|--------------------------------|-------------------|
| Celková cena (bez dotace) | 323 549 Kč |
| Dotace NZÚ | -155 000 Kč |
| Cena po odečtení dotace | 168 549 Kč |
| Úspory po 30 letech | 558 682 Kč |

V tabulce 8.9 máme uvedený rozpis financí, kde cena FVS vychází na 168 549 Kč po odečtení maximální výše dotace z podoblastí C.3.7 a C.5 ve výši 155 000 Kč. Po 30 letech provozu by mohlo být dosaženo úspory ve výši 558 682 Kč.

8.4.4 Třífázový fotovoltaický systém s bateriovým uložištěm 6,56 kW_p

Čtvrtý návrh FVS se skládá celkem z 16 kusů panelů, kde 8 ks je umístěno na jižní stranu střechy a 8 ks na západní stranu střechy. Celkový špičkový výkon FVE je 6,56 kW_p. V návrhu je použit třífázový hybridní měnič GoodWE 8K-ET, kde FV panely z každé části střechy jsou zapojeny do vlastního stringu. Použitý akumulátor má celkovou kapacitu 10,5 kWh. Jelikož se jedná o FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem větším než 4000 kWh/rok, je zde možné čerpat dotaci z programu NZÚ z podoblasti C.3.7 v maximální výši 150 000 Kč při splnění podmínek.

Tabulka 8.10 Výsledky návrhu FVE 6,56 kW_p

| | |
|---------------------------------|-----------|
| Roční energetický výnos | 6 207 kWh |
| Přímá vlastní spotřeba | 1 742 kWh |
| Nabíjení baterie | 2 795 kWh |
| Přetoky do distribuční soustavy | 1 671 kWh |
| Podíl vlastní spotřeby | 73,0 % |
| Podíl soběstačnosti | 92,3 % |
| Návratnost investice | 10,8 roků |

V tabulce 8.10 můžeme vidět, že roční výroba elektrické energie se pohybuje kolem 6,2 MWh, ze které se přímo spotřebuje přibližně 1,7 MWh a do baterií je uloženo kolem 2,8 MWh za rok. Podíl spotřeby vlastní vyrobené elektřiny je 73 %, což se blíží hranici pro splnění podmínek dotační podpory, která je min. 70 %. Stupeň soběstačnosti se nám zvýšil na 92,3 %. Návratnost FVS je téměř 11 let.

Tabulka 8.11 Finanční kalkulace FVE 6,56 kW_p

| | |
|--------------------------------|-------------------|
| Celková cena (bez dotace) | 411 310 Kč |
| Dotace NZÚ | -155 000 Kč |
| Cena po odečtení dotace | 256 310 Kč |
| Úspory po 30 letech | 595 553 Kč |

V tabulce 8.11 máme uvedený rozpis financí, kde cena FVS vychází na 256 310 Kč po odečtení maximální výše dotace z podoblastí C.3.7 a C.5 ve výši 155 000 Kč. Po 30 letech provozu by mohlo být dosaženo úspory ve výši 595 553 Kč.

8.4.5 Třífázový fotovoltaický systém s bateriovým uložištěm 8,2 kW_p

Poslední, pátý návrh FVS se skládá celkem z 20 kusů panelů, kde 10 ks je umístěno na jižní stranu střechy a 10 ks na západní stranu střechy. Celkový špičkový výkon FVE je 8,2 kW_p. Je zde použit třífázový hybridní měnič GoodWE 8K-ET, kde FV panely z každé části střechy jsou zapojeny do vlastního stringu. Použitý akumulátor má celkovou kapacitu 10,5 kWh.

Tabulka 8.12 Výsledky návrhu FVE 8,2 kW_p

| | |
|---------------------------------|-----------|
| Roční energetický výnos | 7 760 kWh |
| Přímá vlastní spotřeba | 1 864 kWh |
| Nabíjení baterie | 2 765 kWh |
| Přetoky do distribuční soustavy | 3 131 kWh |
| Podíl vlastní spotřeby | 59,6 % |
| Podíl soběstačnosti | 95,1 % |
| Návratnost investice | 11,7 roků |

V tabulce 8.12 můžeme vidět, že roční výroba elektrické energie se pohybuje kolem 7,8 MWh, ze které se přímo spotřebuje přibližně 1,9 MWh a do baterií je uloženo kolem 2,8 MWh za rok. Podíl spotřeby vlastní vyrobené elektřiny je pouhých 59,6 %, což nesplňuje podmínky pro získání podpory z programu NZÚ. Stupeň soběstačnosti se nám zvýšil na 95,1 %. Návratnost FVS je 11,7 let v případě využití podpory.

Tabulka 8.13 Finanční kalkulace FVE 8,2 kW_p

| | |
|--------------------------------|-------------------|
| Celková cena (bez dotace) | 455 200 Kč |
| Dotace NZÚ | -155 000 Kč |
| Cena po odečtení dotace | 290 200 Kč |
| Úspory po 30 letech | 591 176 Kč |

V tabulce 8.13 máme uvedený rozpis financí, kde cena FVS vychází na 290 200 Kč po odečtení maximální výše dotace z podoblastí C.3.7 a C.5 ve výši 155 000 Kč. Po 30 letech provozu by mohlo být dosaženo úspory ve výši 591 176 Kč.

Tento návrh by bylo vhodné vzít v úvahu, kdyby spotřeba v domě byla vyšší. V současnosti by nebyla splněna podmínka pro získání dotace NZÚ, protože podíl vlastní spotřeby je necelých 60 %.

8.5 Multikriteriální analýza

Multikriteriální neboli vícekriteriální analýza slouží k výběru nejvhodnějšího řešení podle předem stanovených kritérií. Rozhodovatel by měl při výběru postupovat objektivně, ale i tak může být výsledek analýzy ovlivněn jeho subjektivním názorem, protože každý z nás klade důraz na jiná kritéria. Aby byla zachována co největší objektivita celého řešení výběru, používá se mnoho metod a postupů.

K vývěru nejvhodnějšího řešení vícekriteriální analýzy mohou být použité následující metody:

- Metoda pořadí,
- Bodovací metoda
- Fullerova metoda,
- Saatyho metoda.

Pro řešení výběru nejvhodnějšího FVS pro analyzovaný rodinný dům byla v této práci zvolena Saatyho metoda.

8.5.1 Saatyho metoda

Jedná se o metodu kvantitativního párového srovnání kritérií, která se skládá ze dvou fází. Nejprve se zjišťují preferenční vztahy dvojic kritérií a zapisují se do tabulky, kde řádky a sloupce tvoří jednotlivá kritéria zapsána ve stejném pořadí. Samotné porovnání kritérií

určuje velikost preference pomocí bodového hodnocení ze Saatyho stupnice, viz tabulka 8.14.

Tato metoda neurčuje pouze jestli je jedno kritérium lepší než druhé, ale také udává o kolik je lepší. Díky tomu jsme schopni lépe určit výsledek konečného rozhodnutí výběru.

Tabulka 8.14 Bodové hodnocení Saatyho stupnice [31]

| Body | Vztah |
|------|---|
| 1 | Kritéria jsou stejně významná |
| 3 | První kritérium je slabě významnější než druhé |
| 5 | První kritérium je dosti významnější než druhé |
| 7 | První kritérium je prokazatelně významnější než druhé |
| 9 | První kritérium je absolutně významnější než druhé |

Pozn.: pro jemnější rozlišení preferencí lze přidat hodnoty 2,4,6,8

8.5.2 Výběr vhodného FVS Saatyho metodou

V tabulce 8.15 máme uvedeny všechny navržené varianty FVE včetně jejich parametrů, které tvoří kritéria pro výběr neoptimálnější varianty pro analyzovaný rodinný dům. Podle těchto kritérií budou jednotlivé varianty mezi sebou posuzovány.

Tabulka 8.15 Srovnání navržených variant FVE s jednotlivými kritérii

| | | Kritéria | | | | |
|----------|--------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------|------------------------------|
| | | Energetický roční výnos [kWh] | Podíl vlastní spotřeby [%] | Stupeň soběstačnosti [%] | Návratnost [rok] | Cena po odečtení dotace [Kč] |
| Varianty | FVE_2,46 kW _p | 2511 | 97,1 | 52,2 | 11,5 | 152 747,- |
| | FVE_3,28 kW _p | 3356 | 91,1 | 65,3 | 8,6 | 140 133,- |
| | FVE_4,1 kW _p | 4202 | 91,1 | 79,2 | 8,5 | 168 549,- |
| | FVE_6,56 kW _p | 6207 | 73 | 92,3 | 10,8 | 256 310,- |
| | FVE_8,2 kW _p | 7760 | 59,6 | 95,1 | 11,7 | 290 200,- |

V prvním kroku byly stanoveny váhy jednotlivých kritérií dle Saatyho párového porovnání. Při výběru FVE byl kladen největší důraz na energetický roční výnos, proto má toto kritérium největší váhu. Nejméně výběr ovlivní cena systému po odečtení dotace. Nejprve vypočteme hodnoty geometrických průměrů b_i pro každý řádek Saatyho matice podle vztahu (8.1).

$$b_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n S_{ij}}, \quad (8.1)$$

kde n je počet kritérií a S_{ij} udává hodnotu bodového hodnocení Saatyho matice.

Následně se provede normalizace b_i , pomocí kterých se vypočítají jednotlivé váhy v_i . Vztah pro normalizaci máme uvedený zde:

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^n b_i} \quad (8.2)$$

Váhy jednotlivých kritérií můžeme vidět v tabulce 8.16, které jsou zapsány pomocí Saatyho matice.

Tabulka 8.16 Přidělení vah jednotlivým kritériím

| Kritérium | Energetický roční výnos [kWh] | Návratnost [rok] | Podíl vlastní spotřeby [%] | Stupeň soběstačnosti [%] | Cena po odečtení dotace [Kč] | b_i | v_i |
|-------------------------------|-------------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------|---------------|----------|
| Energetický roční výnos [kWh] | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | 3,9363 | 0,4829 |
| Návratnost [rok] | 1/3 | 1 | 5 | 7 | 9 | 2,5365 | 0,3112 |
| Podíl vlastní spotřeby [%] | 1/5 | 1/5 | 1 | 3 | 7 | 0,9657 | 0,1185 |
| Stupeň soběstačnosti [%] | 1/7 | 1/7 | 1/3 | 1 | 5 | 0,5085 | 0,0624 |
| Cena po odečtení dotace [Kč] | 1/9 | 1/9 | 1/7 | 1/5 | 1 | 0,2039 | 0,0250 |
| SUMA | | | | | | 8,1510 | 1 |

V dalším kroku bylo provedeno párové porovnání variant z hlediska jednotlivých kritérií. Jelikož bylo stanoveno pět kritérií pro výběr nejoptimálnějšího návrhu FVE, níže můžeme vidět pět tabulek párového porovnání.

Tabulka 8.17 Párové porovnání návrhů FVS podle energetického ročního výnosu

| 0,4829 | FVE 2,46 kW _p | FVE 3,28 kW _p | FVE 4,1 kW _p | FVE 6,56 kW _p | FVE 8,2 kW _p | R_i | | v_i |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------|----------|---------------|
| FVE_2,46 kW _p | 1 | 1/3 | 1/5 | 1/7 | 1/5 | 0,2857 | 0,0409 | 0,0198 |
| FVE_3,28 kW _p | 3 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 0,6444 | 0,0923 | 0,0446 |
| FVE_4,1 kW _p | 5 | 3 | 1 | 3 | 9 | 3,3227 | 0,4760 | 0,2299 |
| FVE_6,56 kW _p | 7 | 3 | 1/3 | 1 | 3 | 1,8384 | 0,2634 | 0,1272 |
| FVE_8,2 kW _p | 5 | 3 | 1/9 | 1/3 | 1 | 0,8891 | 0,1274 | 0,0615 |
| SUMA | | | | | | 6,9803 | 1 | 0,4829 |

Tabulka 8.18 Párové porovnání návrhů FVS podle návratnosti

| 0,3112 | FVE 2,46 kW _p | FVE 3,28 kW _p | FVE 4,1 kW _p | FVE 6,56 kW _p | FVE 8,2 kW _p | R _i | | v _i |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------|--------|----------------|
| FVE_2,46 kW _p | 1 | 1/7 | 1/9 | 1/3 | 3 | 0,4366 | 0,0518 | 0,0161 |
| FVE_3,28 kW _p | 7 | 1 | 1/3 | 5 | 9 | 2,5365 | 0,3009 | 0,0936 |
| FVE_4,1 kW _p | 9 | 3 | 1 | 7 | 9 | 4,4273 | 0,5252 | 0,1634 |
| FVE_6,56 kW _p | 3 | 1/5 | 1/7 | 1 | 3 | 0,7621 | 0,0904 | 0,0281 |
| FVE_8,2 kW _p | 1/3 | 1/9 | 1/9 | 1/3 | 1 | 0,2676 | 0,0317 | 0,0099 |
| SUMA | | | | | | 8,4302 | 1 | 0,3112 |

Tabulka 8.19 Párové porovnání návrhů FVS podle podílu vlastní spotřeby

| 0,1185 | FVE 2,46 kW _p | FVE 3,28 kW _p | FVE 4,1 kW _p | FVE 6,56 kW _p | FVE 8,2 kW _p | R _i | | v _i |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------|--------|----------------|
| FVE_2,46 kW _p | 1 | 5 | 5 | 7 | 9 | 4,3597 | 0,5332 | 0,0632 |
| FVE_3,28 kW _p | 1/5 | 1 | 1 | 5 | 7 | 1,4758 | 0,1805 | 0,0214 |
| FVE_4,1 kW _p | 1/5 | 1 | 1 | 7 | 9 | 1,6599 | 0,2030 | 0,0241 |
| FVE_6,56 kW _p | 1/7 | 1/5 | 1/7 | 1 | 7 | 0,4911 | 0,0601 | 0,0071 |
| FVE_8,2 kW _p | 1/9 | 1/7 | 1/9 | 1/7 | 1 | 0,1907 | 0,0233 | 0,0028 |
| SUMA | | | | | | 8,1771 | 1 | 0,1185 |

Tabulka 8.20 Párové porovnání návrhů FVS podle stupně soběstačnosti

| 0,0624 | FVE 2,46 kW _p | FVE 3,28 kW _p | FVE 4,1 kW _p | FVE 6,56 kW _p | FVE 8,2 kW _p | R _i | | v _i |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------|--------|----------------|
| FVE_2,46 kW _p | 1 | 1/3 | 1/5 | 1/7 | 1/9 | 0,2540 | 0,0352 | 0,0022 |
| FVE_3,28 kW _p | 3 | 1 | 1/3 | 3 | 5 | 1,7188 | 0,2384 | 0,0149 |
| FVE_4,1 kW _p | 5 | 3 | 1 | 5 | 7 | 3,4997 | 0,4854 | 0,0303 |
| FVE_6,56 kW _p | 7 | 1/3 | 1/5 | 1 | 5 | 1,1847 | 0,1643 | 0,0103 |
| FVE_8,2 kW _p | 9 | 1/5 | 1/7 | 1/5 | 1 | 0,5524 | 0,0766 | 0,0048 |
| SUMA | | | | | | 7,2096 | 1 | 0,0624 |

Tabulka 8.21 Párové porovnání návrhů FVS podle ceny po odečtení dotace

| 0,0250 | FVE 2,46 kW _p | FVE 3,28 kW _p | FVE 4,1 kW _p | FVE 6,56 kW _p | FVE 8,2 kW _p | R _i | | v _i |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------|--------|----------------|
| FVE_2,46 kW _p | 1 | 1/9 | 3 | 5 | 7 | 1,6345 | 0,1911 | 0,0048 |
| FVE_3,28 kW _p | 9 | 1 | 5 | 7 | 9 | 4,9036 | 0,5734 | 0,0143 |
| FVE_4,1 kW _p | 1/3 | 1/5 | 1 | 7 | 9 | 1,3324 | 0,1558 | 0,0039 |
| FVE_6,56 kW _p | 1/5 | 1/7 | 1/7 | 1 | 7 | 0,4911 | 0,0574 | 0,0014 |
| FVE_8,2 kW _p | 1/7 | 1/9 | 1/9 | 1/7 | 1 | 0,1907 | 0,0223 | 0,0006 |
| SUMA | | | | | | 8,5523 | 1 | 0,0250 |

8.5.3 Vyhodnocení variant návrhů FVE Saatyho metodou

Vyhodnocení všech variant návrhů FVE bylo provedeno syntetizací dílčích informačních hodnot z jednotlivých kritérií a tyto hodnoty byly zapsány do tabulky 8.22. Varianta, která má nejvyšší syntetizovanou preferenční informaci udává první místo výběru podle zvolených kritérií. Podle výsledků syntetizovaných informací byla určena jednotlivá pořadí návrhů, viz tabulka 8.22.

Tabulka 8.22 Vyhodnocení variant návrhů

| Varianty návrhů FVE | v_i | Pořadí |
|-------------------------------|---------------|----------|
| FVE 2,46 kW _p | 0,1060 | 4 |
| FVE 3,28 kW _p | 0,1888 | 2 |
| FVE 4,1 kW_p | 0,4515 | 1 |
| FVE 6,56 kW _p | 0,1741 | 3 |
| FVE 8,2 kW _p | 0,0795 | 5 |
| SUMA | 1,0000 | |

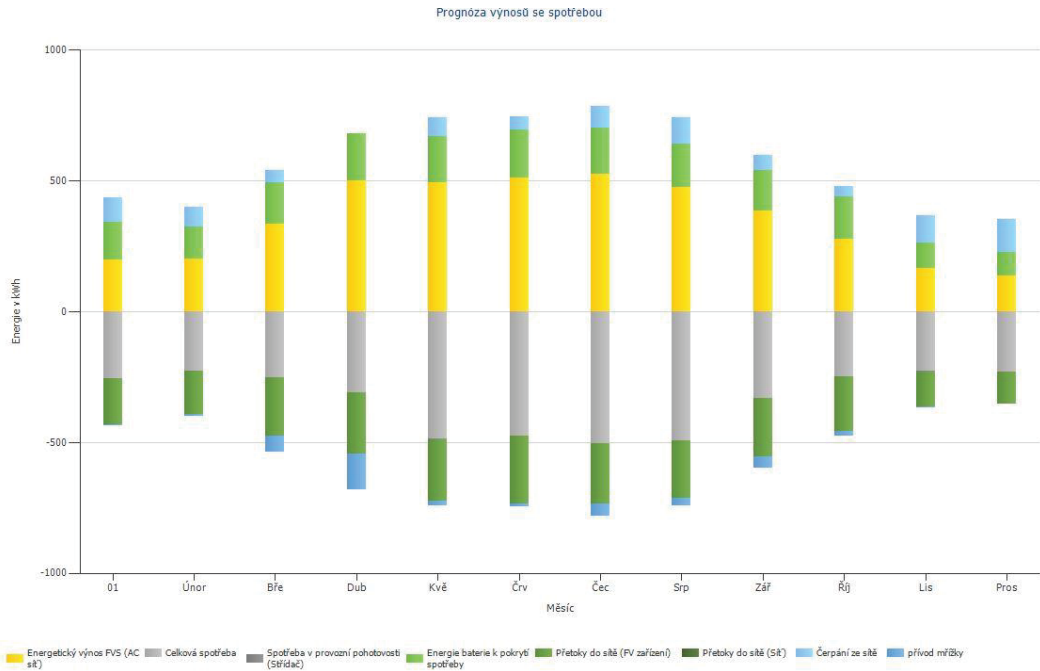
Metodou analytického hierarchického procesu (AHP) byla jako kompromisní varianta vybrána FVE s výkonem 4,1 kW_p. Tato varianta má nejkratší dobu návratnosti a dobrý poměr mezi podílem vlastní spotřeby a stupněm soběstačnosti. Na posledním místě se umístil návrh FVE 8,2 kW_p s čím se dalo počítat, protože v současné době má rodinný dům roční spotřebu elektrické energie přibližně poloviční.

8.6 Vybraná varianta FVE 4,1 kW_p

V této podkapitole si podrobněji rozebereme návrh varianty FVE 4,1 kW_p, která je umístěná na jižní straně střechy.

Na obrázku 8.10 můžeme vidět krytí spotřeby elektrické energie v rodinném domě během jednotlivých měsíců. Je zde vidět, že měsíční spotřeba elektřiny je i v zimních měsících pokryta přibližně z polovičky vlastní vyrobenou elektřinou, a to díky využití bateriového uložení. V letních měsících je vidět, že spotřeba elektrické energie je vyšší z důvodů využívání elektrického bojleru pro ohřev teplé vody, ale díky tomu je většina vyrobené energie spotřebována přímo v domě. Nejvyšších přetoků do distribuční soustavy je dosaženo v měsíci dubnu. Čerpaní elektřiny ze sítě dochází i v letních měsících, tzn. pokud bychom chtěli být více soběstační museli bychom zvýšit celkový výkon FVS.

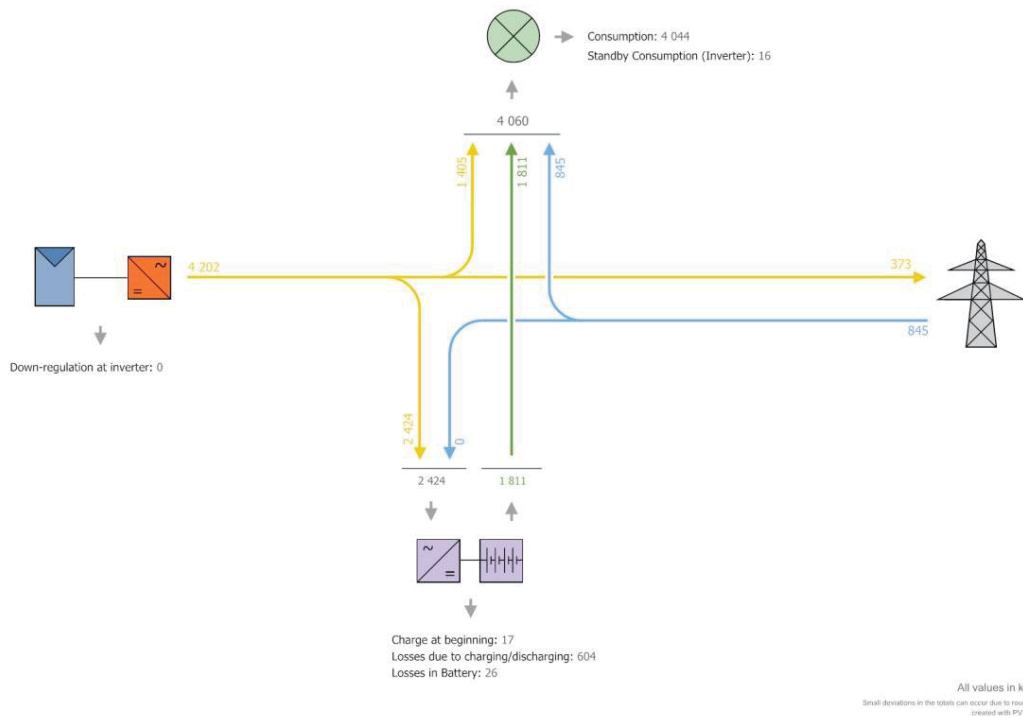
Na obrázku 8.11 vidíme grafické znázornění toků energií během roku, kde je výnos FVS 4,2 MWh, ze které je 1,4 MWh použito pro přímou spotřebu a 2,4 MWh je uloženo do akumulátorů. Do distribuční soustavy ročně přeteče přibližně 300 kWh. Naopak, z distribuční soustavy musí být ročně nakoupeno kolem 850 kWh.



Obrázek 8.10 Prognóza výnosů se spotřebou

Energy Flow Graph

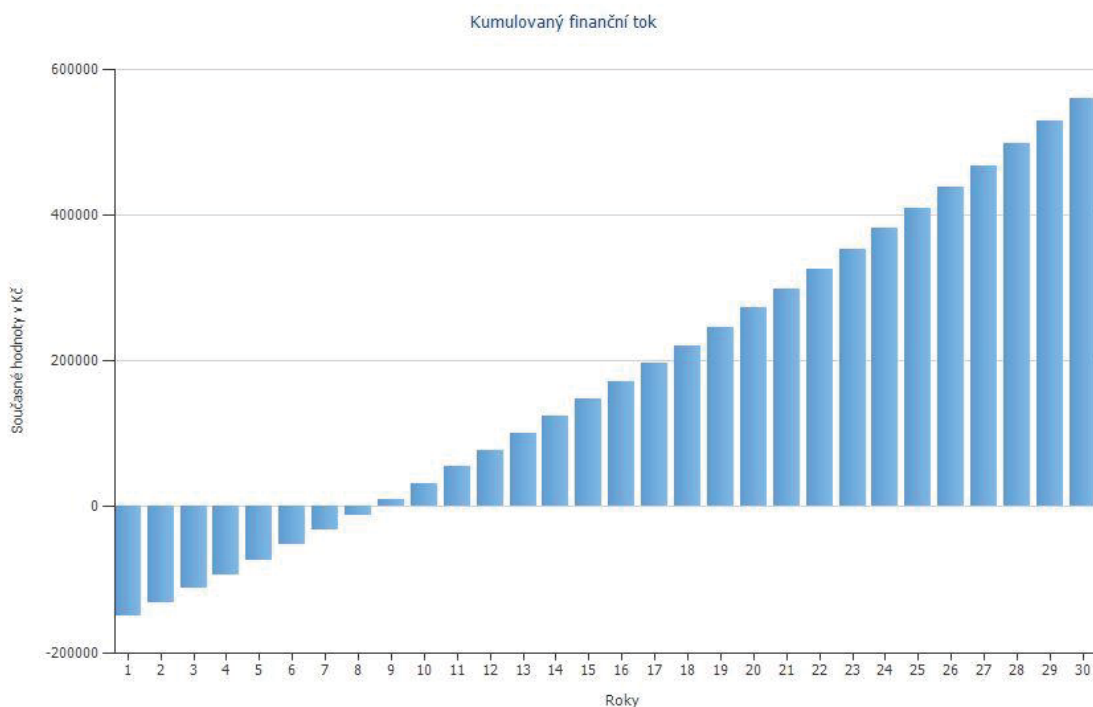
Project: 4,1 kWp - jižní strana



Obrázek 8.11 Grafické znázornění toků energií

Pokud se podíváme na obrázek 8.12 na finanční analýzu, je zřejmé, že návratnost FVS s použitím dotace z podoblasti C.3.7 bude zhruba 9 let. Po 30 letech provozu by mohla FVE uspořit přibližně 560 000 Kč.

Ovšem tato analýza nepočítá s obměnou střídače ani akumulátorů během celé životnosti elektrárny. Proto bude vhodné vytvořit finanční analýzu vylepšenou o tyto další náklady FV prvků, které pravděpodobně nevydrží fungovat po celou dobu životnosti FVE, v našem případě 30 let (životnost FV panelů se udává až 40 let).



Obrázek 8.12 Finanční tok

8.6.1 Výpočet úspor

V případě, že do výpočtu úspor započítáme obměnu střídače po 15 letech a obměnu baterií po 20 letech provozu získáme čistý výnos přibližně 400 000 Kč. Když tyto náklady na obměnu započítáme do pořizovací ceny, návratnost FVS se posune z 8,5 na 16 let.

V tabulce 8.23 máme uvedeny vzniklé úspory po 30 letech, zejména důležitý pro nás je čistý výnos po 30 letech. Můžeme si všimnout rozdílu mezi výpočtem úspor podle cenové kalkulace Innogy a výpočtu úspor z návrhového programu PV*SOL. V návrhu od dodavatele Innogy je výše úspor přibližně o 150 000 Kč vyšší než z našeho návrhu.

Tento rozdíl je pravděpodobně způsobený tím, že v cenovém návrhu Innogy při výpočtu úspor se vychází z toho, že veškerá vyrobená elektřina FVS je v tomto domě spotřebována a nepočítá se zde s uživatelským spotřebním profilem. Dále jejich návrh počítá s výrobou elektrické energie, která je dosažitelná standartní instalací v průměrných

osvitových podmínkách na území ČR a nepočítá tedy s vlivem zastínění, které může být způsobeno okolními objekty.

Tabulka 8.23 Výnos po 30 letech včetně obměny střídače a baterií

| | Výpočet úspor PV*SOL | Výpočet úspor dle Innogy |
|---------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Úspory za 30 let | 558 682 Kč | 709 630 Kč |
| Obměna střídače po 15 letech | - 110 069 Kč | - 110 069 Kč |
| Obměna baterií po 20 letech | -58 402 Kč | -58 402 Kč |
| Čistý výnos po 30 letech | 390 211 Kč | 541 159 Kč |

Pokud bychom nepočítali s předpokládanou životností střídače a baterie, a museli bychom je měnit v blízké době po uplynutí záruky, tj. krátce po 10 letech, čistý výnos po 30 letech by se nám rapidně snížil.

8.6.2 Položkový rozpočet

V tabulce 8.24 máme uvedený rozpočet navrženého fotovoltaického systému do jednotlivých položek dle aktuální cenové nabídky dodavatele Innogy.

Tabulka 8.24 Položkový rozpočet

| Položka | Cena |
|--|--------------------------|
| FV panely Axitec AC-410MH/144V – 10 ks | 21 181 Kč |
| Střídač GoodWE 8K-ET (3f, 2 MPP, hybrid) | 72 624 Kč |
| Baterie Pylontech Force H2 7,1 kWh (HV) | 131 010 Kč |
| Elektromateriál vč. přepět'ových ochran | 46 761 Kč |
| Nosná konstrukce | 15 045 Kč |
| Projektová dokumentace a revize | 8 791 Kč |
| Posudek specialisty NZÚ | 5 000 Kč |
| Montážní práce | 14 231 Kč |
| Doprava + Administrativní úkony | 8 906 Kč |
| Celková cena včetně 15% DPH | 323 549 Kč |
| Dotace nová zelená úsporám | - 155 000 Kč |
| <u>Cena po odečtení dotace</u> | <u>168 549 Kč</u> |

Dodavatel poskytuje záruku na tento fotovoltaický systém:

Fotovoltaické moduly

- 12 let záruka na materiál,
- 30 let na lineární pokles výkonu až na 85 %.

Nosná konstrukce

- Záruka na materiál montážního systému je 10 let.

Střídač

- Záruka na funkčnost 10 let (předpokládaná životnost střídače je 15 let).

Regulátor

- Záruka 2 roky.

Baterie

- Záruka na funkčnost 10 let (předpokládaná životnost baterie je 20 let).

9. ZÁVĚR

V této diplomové práci jsme se nejprve seznámili s principem fotovoltaického děje, pomocí kterého jsou schopny fotovoltaické panely přeměnit sluneční energii na energii elektrickou. Dále jsme se seznámili s generačním vývojem fotovoltaických článků i jednotlivými druhy, u kterých byly popsány jejich vlastnosti a technologické zpracování. Také jsme se seznámili s konstrukcí fotovoltaických panelů a jejich energetickou návratností (EPBT). Jsou zde popsány i další jednotlivé části fotovoltaické elektrárny jako jsou střídače a akumulátorové uložistě.

Pro akumulaci elektrické energie v rodinném domě je vhodné použít lithiové akumulátory. Jejich hlavní výhodou je velký počet nabíjecích cyklů a životnost v reálných podmínkách může dosahovat až 15 let. Nevýhodou této technologie je vyšší pořizovací cena a vyšší nároky na řídicí elektroniku nabíjecího procesu.

V práci je dále popsán pohled z oblasti legislativy, zejména připojování domácích FVE do výkonu 10 kW k distribuční soustavě. Od roku 2015 lze připojit FVE do 10kW bez nutnosti licence. Dále jsme se seznámili s dotačním programem nová zelená úsporám pro rodinné domy. Zejména s podoblastí C.3, která se zabývá instalací solárních termických a fotovoltaických systému. V této podoblasti lze čerpat dotace ve výši 35 000 až 150 000 Kč, při splnění podmínek.

V další části je provedená analýza rodinného domu pro instalaci FVE s bateriovým uložistěm. Analýza roční spotřeby elektrické energie vychází přibližně 3,5 MWh. Na základě této skutečnosti je navrhován FVS s výkonem 4 kW_p, který by měl za rok vyrobit přibližně 4 MWh. Pomocí online nástroje PVGIS byl proveden orientační výpočet elektrické energie vyrobené tímto FVS.

V praktické části práce byl nejprve udělán rozbor nejvhodnějšího rozmístění FV panelů. Z výsledků vyšlo najevo, že nejvyššího jmenovitého výkonu bude dosaženo při umístění panelů na jižní část střechy.

Dále bylo provedeno pět různých návrhů FVE s bateriovým uložistěm tak, aby bylo možné vždy čerpat podporu NZÚ z dané podoblasti C.3.5, C.3.6 nebo C.3.7. Jednotlivé návrhy byly mezi sebou porovnány a vyhodnoceny multikriteriální analýzou pomocí pěti kritérií. Metodou analytického hierarchického procesu byla jako kompromisní varianta vybrána FVE s výkonem 4,1 kW_p, která dosáhne ročního výnosu 4202 kWh s ekonomickou návratností za 8,5 roků. Podíl vlastní vyrobené elektřiny bude kolem 90 % a stupeň soběstačnosti 80 %, pokud spotřeba elektřiny bude podobná jako v posledních letech. Úspory po 30 letech provozu se budou pohybovat kolem 550 000 Kč, pokud do úspor započítáme obměnu střídače po 15 letech a výměnu baterií po 20 letech vyjde nám čistý výnos kolem 400 000 Kč. Pokud by v budoucnu vzrostla spotřeba elektřiny v tomto domě, je zde možnost rozšíření FVE na západní stranu střechy, která by se zapojila do dalšího stringu a výsledná elektrárna by mohla mít výkon 8,2 kW_p s ročním výnosem energie kolem 7,8 MWh.

LITERATURA

- [1] *Víte, jak funguje fotovoltaický článek?* [online]. 2013 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/5.php>
- [2] *Solární (fotovoltaické) články* [online]. [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [3] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6
- [4] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [5] HASELHUHN, Ralf a Petr MAULE. *Fotovoltaické systémy: energetická příručka pro elektrikáře, techniky, instalatéry, projektanty, architekty, inženýry, energetiky, manažery, stavitele, studenty, učitele, ostatní odborné a profesní soukromé nebo veřejné instituce a zájemce o fotovoltaický obor a energetickou nezávislost*. Plzeň: Česká fotovoltaická asociace, 2017. ISBN 978-80-906281-5-1.
- [6] *Elektromontér fotovoltaických systémů*. Ostrava: Solární Energie, 2016.
- [7] *Polovodiče: Fotovoltaické články z krystalického křemíku a tenkovrstvé články* [online]. 2017 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/polovodiče-fotovoltaicke-clanky-krystalickeho-kremiku-tenkovrstve-clanky>
- [8] ŠTALMACH, Jakub. *Analýza VA charakteristik jako metoda ověření parametrů FVE* [online]. Plzeň, 2013 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/4xrrks/>
- [9] *Fotovoltaické panely nové generace na bázi perovskitů se již letos začnou tisknout v Polsku* [online]. [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://www.solarninovinky.cz/fotovoltaicke-panely-nove-generace-na-bazi-perovskitu-se-jiz-letos-zacnou-tisknout-v-polsku/>
- [10] *Hybridní křemíko-perovskitové solární panely dosáhly 27,7% účinnosti* [online]. 2020 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/hybridni-kremiko-perovskitove-solarni-panely-dosahly-27-7-ucinnosti/51519>
- [11] *Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů* [online]. [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/konstrukce-a-vyroba-fotovoltaickych-clanku-a-panelu--10310>
- [12] *Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny* [online]. [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [13] *ENERGETICKÁ NÁVRATNOST FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ V PODMÍNKÁCH ČESKÉ REPUBLIKY* [online]. 2008 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/69728>
- [14] *Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltice* [online]. 2014 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaice>

- [15] NĚMEČEK, Ondřej. *Teplotní charakteristiky fotovoltaických panelů*. Plzeň, 2017. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Dostupné z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/26879/1/Ondrej%20Nemecek_E15N0090_P_DP.pdf
- [16] *TEST: Skla solárních panelů je třeba čistit. Výkon se zlepšil až o 14 %* [online]. 2012 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/energie/test-skla-solarnich-panelu-je-treba-cistit-vykon-se-zlepsi-az-o-14.aspx>
- [17] *Je vhodnější střídač s transformátorem nebo bez něj?* [online]. 2010 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/stridac-s-transformatorem-nebo-bez-nej>
- [18] *Přichází doba akumulátorů* [online]. 2015 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/13444-prichazi-doba-akumulatoru>
- [19] MASTNÝ, Petr. *Malé zdroje elektrické energie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2015.
- [20] *Cykly a životnost baterie* [online]. 2020 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/21096-cykly-a-zivotnost-baterie>
- [21] *Akumulátory Li-ion a jejich nabíjení* [online]. 2001 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://www.belza.cz/charge/liion1.htm>
- [22] *Možnosti připojení domácí elektrárny v roce 2016* [online]. 2016 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13918-moznosti-pripojени-domaci-elektrarny-v-roce-2016>
- [23] *Nová zelená úsporám* [online]. [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/o-programu/>
- [24] *Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory z podprogramu Nová zelená úsporám* [online]. 2020 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: [https://www.novazelenausporam.cz/files/documents/storage/2020/05/15/1589522543_NZ%C3%9A_Z%C3%A1vazn%C3%A9%20pokyny%20pro%20%C5%BEa%20datele%20RD%20\(1.5\).pdf](https://www.novazelenausporam.cz/files/documents/storage/2020/05/15/1589522543_NZ%C3%9A_Z%C3%A1vazn%C3%A9%20pokyny%20pro%20%C5%BEa%20datele%20RD%20(1.5).pdf)
- [25] *Mapy.cz* [online]. Praha [cit. 2020-12-09]. Dostupné z: <https://mapy.cz/s/dejatuzosa>
- [26] *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM* [online]. [cit. 2020-12-09]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP
- [27] *Výpočet doby ohřevu teplé vody* [online]. [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/97-vypocet-doby-ohrevu-teple-vody>
- [28] *PV*SOL premium* [online]. 2021 [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/>
- [29] MAULE, Petr. *Druhy fotovoltaických systémů a jejich zapojení*. [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.fenixgroup.cz/sites/default/files/20190807.pdf>

- [30] BECHNÍK, Bronislav. *Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů* [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>
- [31] FOTR, Jiří. *Manažerské rozhodování: postupy, metody a nástroje*. Praha: Ekopress, 2006. ISBN 80-86929-15-9.

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

| | |
|-------|---|
| FV | Fotovoltaický |
| EPBT | Energy PayBack Time (Energetická návratnost) |
| EROEI | Energy Return on Energy Invested (Energetická návratnost vložené energie) |
| CIS | Copper-Indium-diSelenid (Dvojselenid mědi-india) |
| FVE | Fotovoltaická elektrárna |
| EVA | Ethylen Vinyl Acetát |
| STC | Standard Test Conditions (Standardní zkušební podmínky) |
| AM | Air Mass |
| MPP | Bod maximálního výkonu |
| MPPT | Sledovač maximálního bodu výkonu |
| DC | Stejnoseměrný elektrický proud |
| AC | Střídavý elektrický proud |
| RD | Rodinný dům |
| FVS | Fotovoltaický systém |
| DOD | Depth of Discharge (Hloubka vybití) |
| BMS | Battery Managment Systém |
| ERÚ | Energetický regulační úřad |
| DS | Distribuční soustava |
| NZÚ | Nová zelená úsporám |
| OZE | Obnovitelné zdroje energie |

Symboly:

| | | |
|-----------|----------------------------------|---------------------------------------|
| η | účinnost | [%] |
| P_{MPP} | výkon v bodě maximálního výkonu | [W] |
| U_{MPP} | napětí v bodě maximálního výkonu | [V] |
| I_{MPP} | proud v bodě maximálního výkonu | [A] |
| A | plocha modulu | [m ²] |
| e | intenzita slunečního záření | [W/m ²] |
| E | energie | [Wh] |
| m | hmotnost | [kg] |
| c | měrná tepelná kapacita | [J.kg ⁻¹ K ⁻¹] |
| t | teplota | [K] |

SEZNAM PŘÍLOH

| | |
|--|----|
| PŘÍLOHA A - DOKUMENTACE FVS 4,1 kW _p – JIŽNÍ STRANA | 70 |
|--|----|

V příloze A je uvedena dokumentace návrhu FVS 4,1 kW_p, která byla vybrána jako nejvhodnější varianta pro analyzovaný rodinný dům. Dokumentace ostatních návrhů, ze kterých byl proveden výběr, jsou uloženy v systému a na přiloženém CD.

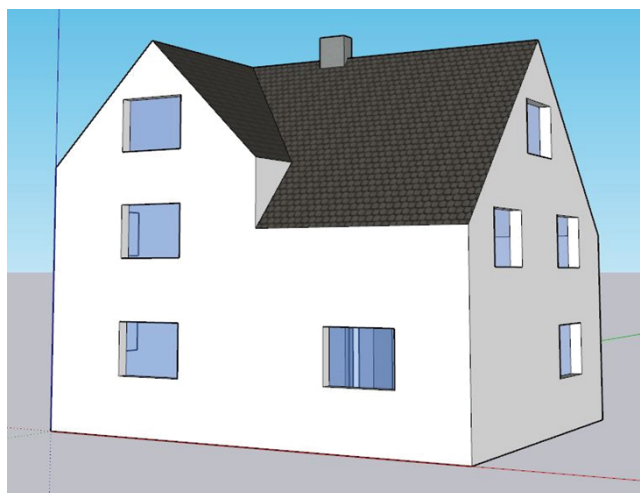
VUT_FEKT

Název projektu: 4,1 kWp - jižní strana
Nabídka číslo: DP003

29.04.2021

Váš FV systém

Adresa instalace



Přehled projektu



Obrázek: Obrazový přehled, 3D design

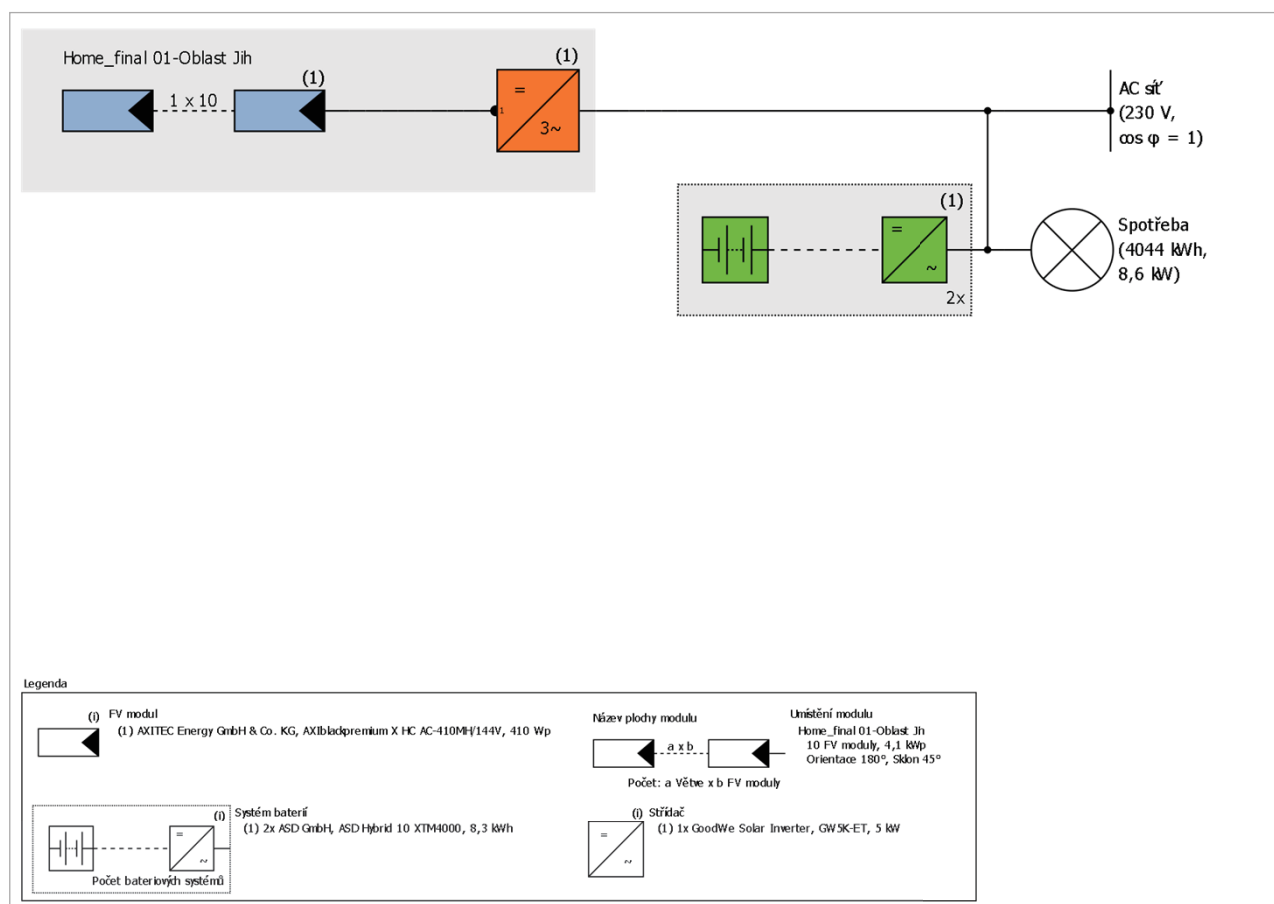
FV zařízení

3D, Fotovoltaický systém s elektrickými spotřebiči a akumulátorovými systémy připojený k rozvodné síti

| | |
|---------------------------|---------------------------|
| Klimatická data | Krhová, CZE (1991 - 2010) |
| Instalovaný výkon | 4,1 kWp |
| Plocha FV modulů | 20,1 m ² |
| Počet FV modulů | 10 |
| Počet měničů | 1 |
| Počet bateriových systémů | 2 |

4,1 kWp - jižní strana

Číslo nabídky: DP003



Obrázek: Schéma zapojení

Roční výnos

Roční výnos

| | |
|---|------------------|
| Energetický výnos FVS (AC síť) | 4 195 kWh |
| Přímá vlastní spotřeba | 1 408 kWh |
| Přetoky do sítě | 2 418 kWh |
| přívod mřížky | 368 kWh |
| Ztráta energie omezením přetoků do sítě | 0 kWh |
| Podíl vlastní spotřeby | 91,2 % |
| Stupeň soběstačnosti | 79,2 % |
| Spec. Roční výnos | 1 019,23 kWh/kWp |
| Stupeň využití zařízení (PR) | 86,1 % |
| Snížení výnosu zastíněním | 4,2 %/Rok |
| Snížení emisí CO ₂ | 1 668 kg/rok |

4,1 kWp - jižní strana

Číslo nabídky: DP003

Finanční analýza

Váš zisk

| | |
|--|--------------------|
| Celkové investiční náklady | 323 549,00 Kč |
| Celková kapitálová rendita | 5,34 % |
| Doba amortizace | 15,9 Roky |
| Vlastní výrobní náklady elektrické energie | 2,6 Kč/kWh |
| Energetická bilance / Princip napájení | Napájení přebytkem |

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



Konstrukce zařízení

Přehled

Data zařízení

| | |
|-----------------|--|
| Druh zařízení | 3D, Fotovoltaický systém s elektrickými spotřebiči a akumulátorovými systémy připojený k rozvodné síti |
| Začátek provozu | 08.04.2021 |

Klimatická data

| | |
|--------------------------------------|---------------------------|
| Lokalita | Krhová, CZE (1991 - 2010) |
| Řešení dat | 1 min |
| Použité simulační modely: | |
| - Difúzní záření na vodorovné rovině | Hofmann |
| - Ozařování na skloněnou plochu | Hay & Davies |

Spotřeba

| | |
|---|----------|
| Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby | 4044 kWh |
| 2 osoby se 2 dětmi | 3000 kWh |
| Bojler | 1044 kWh |
| Špičkové zatížení | 8,6 kW |

4,1 kWp - jižní strana

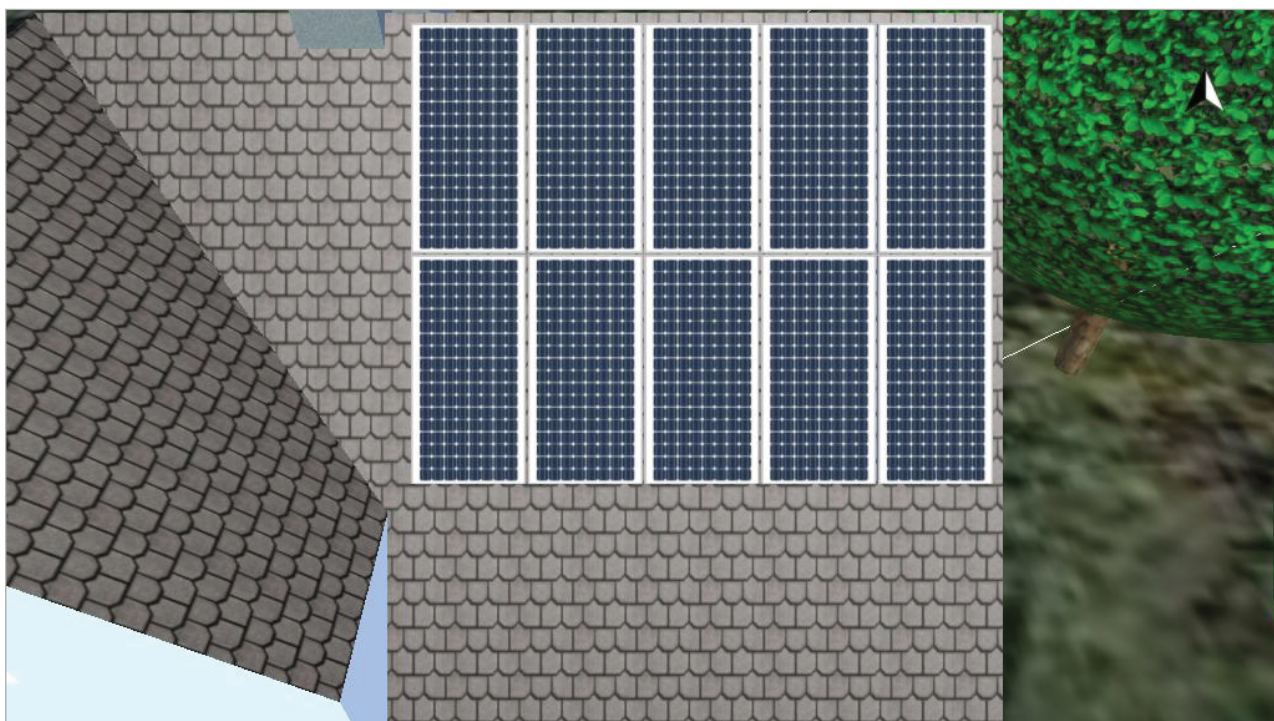
Číslo nabídky: DP003

Plochy modulů

1. Umístění modulu - Home_final 01-Oblast Jih

FV generátor, 1. Umístění modulu - Home_final 01-Oblast Jih

| | |
|----------------------|--|
| Jméno | Home_final 01-Oblast Jih |
| FV moduly | 10 x AXIblackpremium X HC AC-410MH/144V (v1) |
| Výrobce | AXITEC Energy GmbH & Co. KG |
| Sklon | 45 ° |
| Orientace | Jih 180 ° |
| Situace při vestavbě | Souběžně se střechou – dobře větráno zezadu |
| Plocha FV modulů | 20,1 m ² |

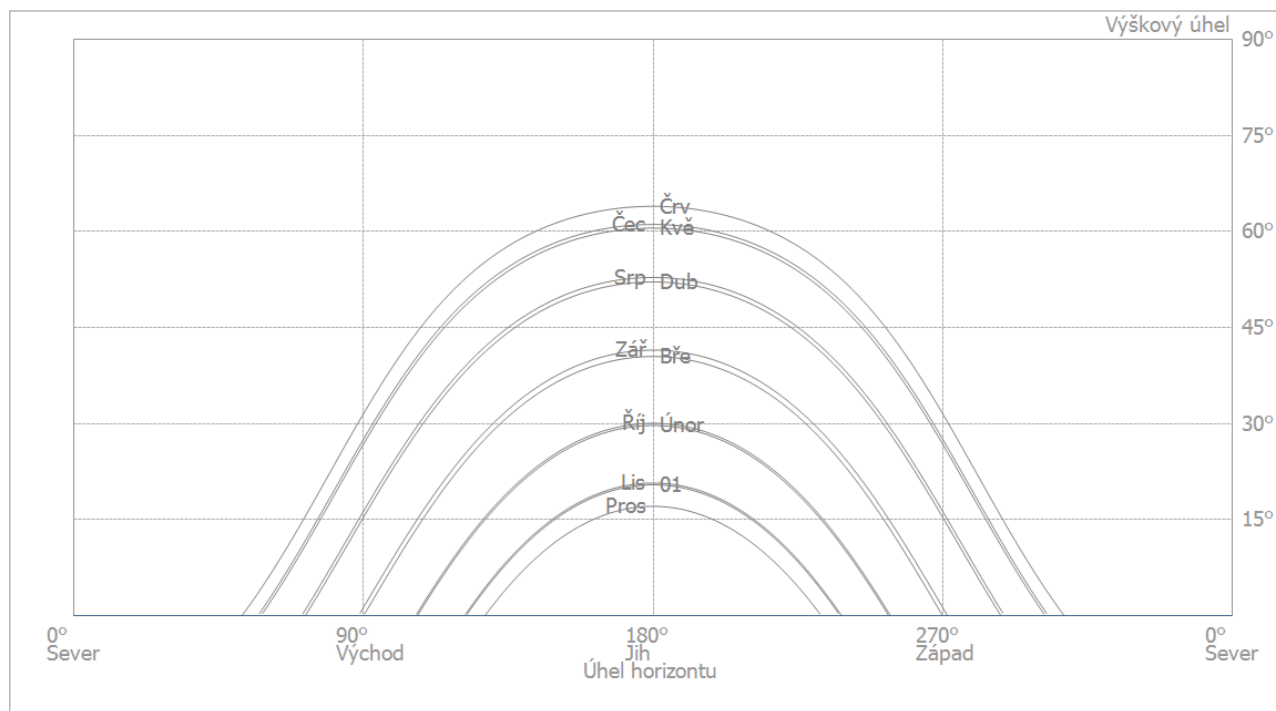


Obrázek: 1. Umístění modulu - Home_final 01-Oblast Jih

4,1 kWp - jižní strana

Číslo nabídky: DP003

Linie horizontu, 3D design



Obrázek: Horizont (3D design)

Konfigurace měniče

Propojení stringů 1

| | |
|-----------------------------|--------------------------|
| Umístění modulu | Home_final 01-Oblast Jih |
| Střídač 1 | |
| Model | GW5K-ET (v1) |
| Výrobce | GoodWe Solar Inverter |
| Počet | 1 |
| Faktor dimenzování střídače | 82 % |
| Propojení stringů | MPP 1+2: 1 x 10 |

AC síť

AC síť

| | |
|-----------------------------|-------|
| Počet fází | 3 |
| Síťové napětí (jednofázové) | 230 V |
| Účinník (cos phi) | +/- 1 |

4,1 kWp - jižní strana

Číslo nabídky: DP003

Bateriové systémy

Systém baterií

| | |
|-----------------|----------------------------|
| Model | ASD Hybrid 10 XTM4000 (v1) |
| Výrobce | ASD GmbH |
| Počet | 2 |
| Měnič baterie | |
| Typ připojení | AC připojení |
| Jmenovitý výkon | 3,5 kW |
| Baterie | |
| Výrobce | ASD Sonnenspeicher |
| Model | ASD Hybrid 10 (v1) |
| Počet | 1 |
| Energie baterie | 8,3 kWh |
| Typ akumulátoru | Lithium-železo-fosfát |

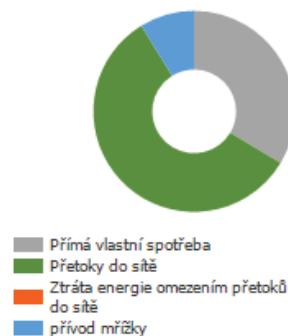
Výsledky simulace

Výsledky Celkové zařazení

FV zařízení

| | |
|--|--------------------------|
| Instalovaný výkon | 4,1 kWp |
| Spec. Roční výnos | 1 019,23 kWh/kWp |
| Stupeň využití zařízení (PR) | 86,1 % |
| Snížení výnosu zastíněním | 4,2 %/Rok |
| Energetický výnos FVS (AC síť) | 4 195 kWh/Rok |
| Přímá vlastní spotřeba | 1 408 kWh/Rok |
| Přetoky do sítě | 2 418 kWh/Rok |
| Ztráta energie omezením přetoků do sítě přívod mřížky | 0 kWh/Rok 368 kWh/Rok |
| Podíl vlastní spotřeby | 91,2 % |
| Snížení emisí CO ₂ | 1 668 kg/rok |

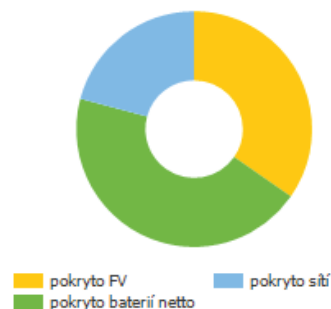
Energetický výnos FVS (AC síť)



Celková spotřeba

| | |
|--|----------------------|
| Celková spotřeba | 4 044 kWh/Rok |
| Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač) | 16 kWh/Rok |
| Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby | 4 060 kWh/Rok |
| pokryto FV | 1 408 kWh/Rok |
| pokryto baterií netto | 1 806 kWh/Rok |
| pokryto sítí | 846 kWh/Rok |
| Podíl pokrytí solární energií | 79,2 % |

Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby



Systém baterií

| | |
|------------------------------------|---------------|
| Dobití na začátku | 17 kWh |
| Přetoky do sítě (Celkem) | 2 418 kWh/Rok |
| Přetoky do sítě (FV zařízení) | 2 418 kWh/Rok |
| Přetoky do sítě (Síť) | 0 kWh/Rok |
| Energie baterie k pokrytí spotřeby | 1 806 kWh/Rok |
| Ztráty nabíjením/vybíjením | 603 kWh/Rok |
| Ztráty v baterii | 26 kWh/Rok |
| Cyklické zatížení | 2,7 % |
| Životnost | >20 Roky |

Přetoky do sítě (Celkem)



Stupeň soběstačnosti

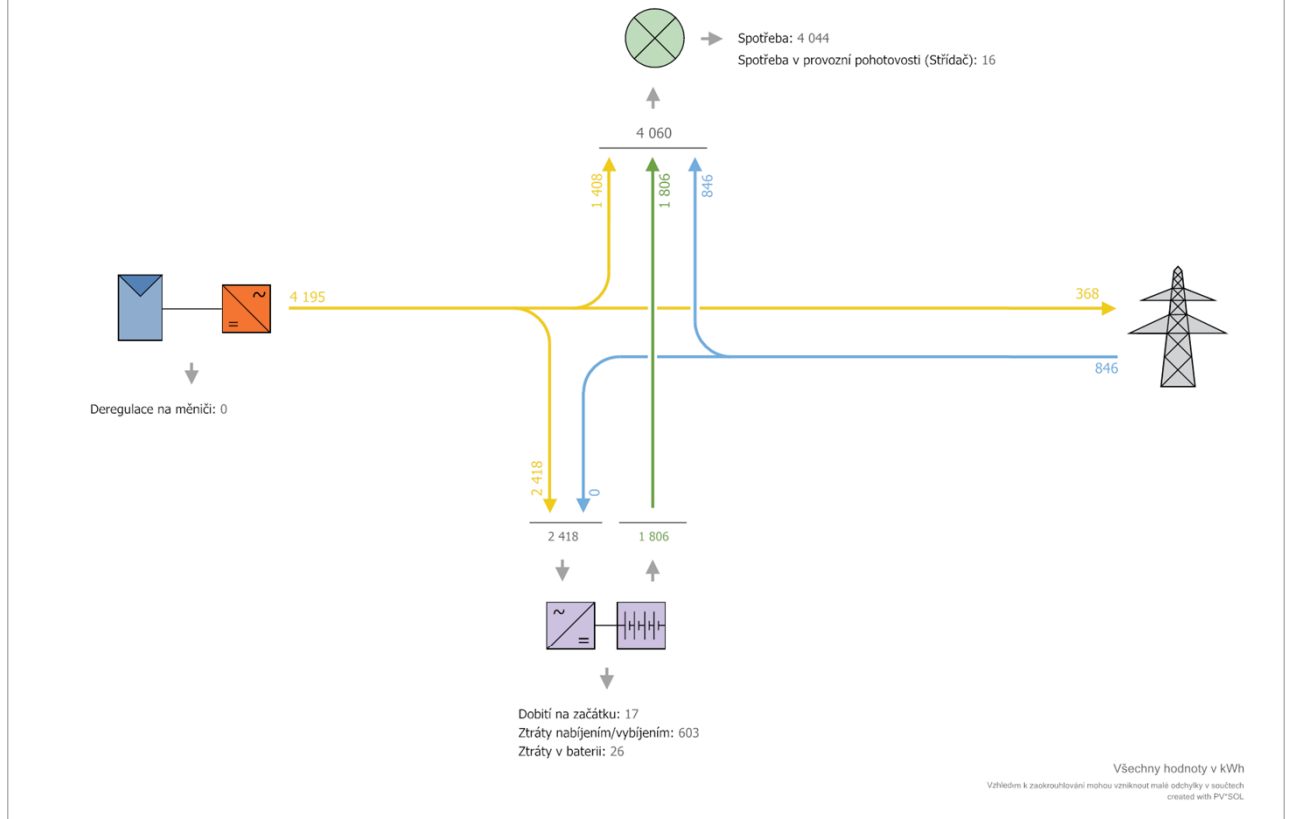
| | |
|---|---------------|
| Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby | 4 060 kWh/Rok |
| pokryto sítí | 846 kWh/Rok |
| Stupeň soběstačnosti | 79,2 % |

4,1 kWp - jižní strana

Číslo nabídky: DP003

Tok energie grafika

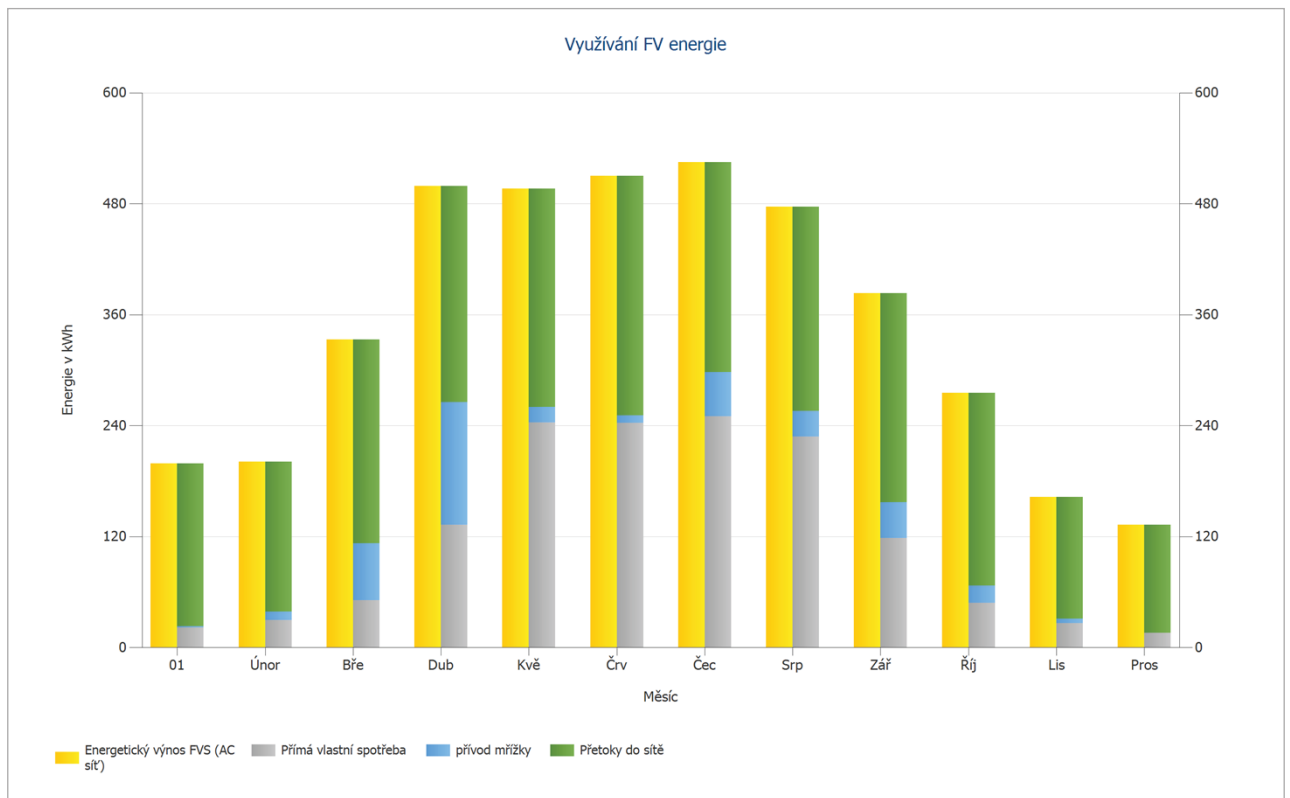
Projekt: 4,1 kWp - jižní strana



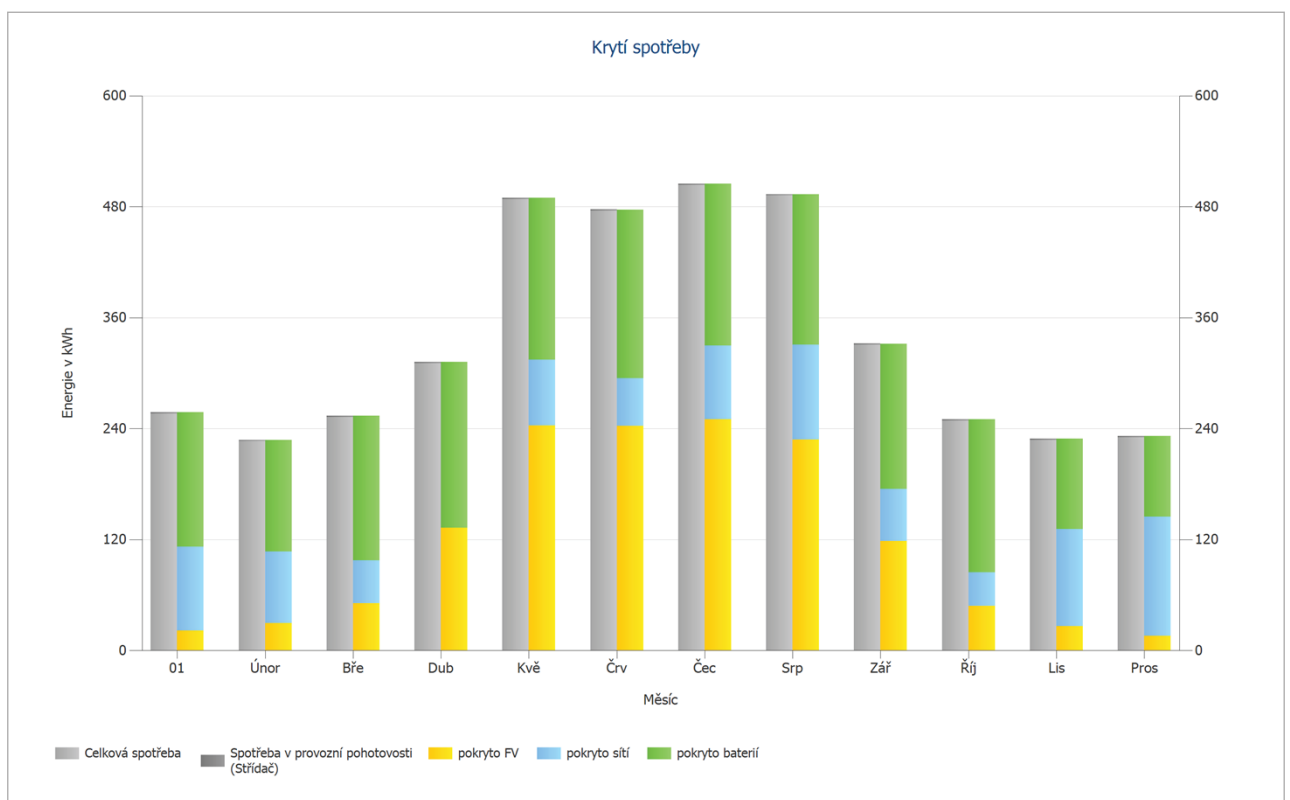
Obrázek: Tok energie grafika

4,1 kWp - jižní strana

Číslo nabídky: DP003



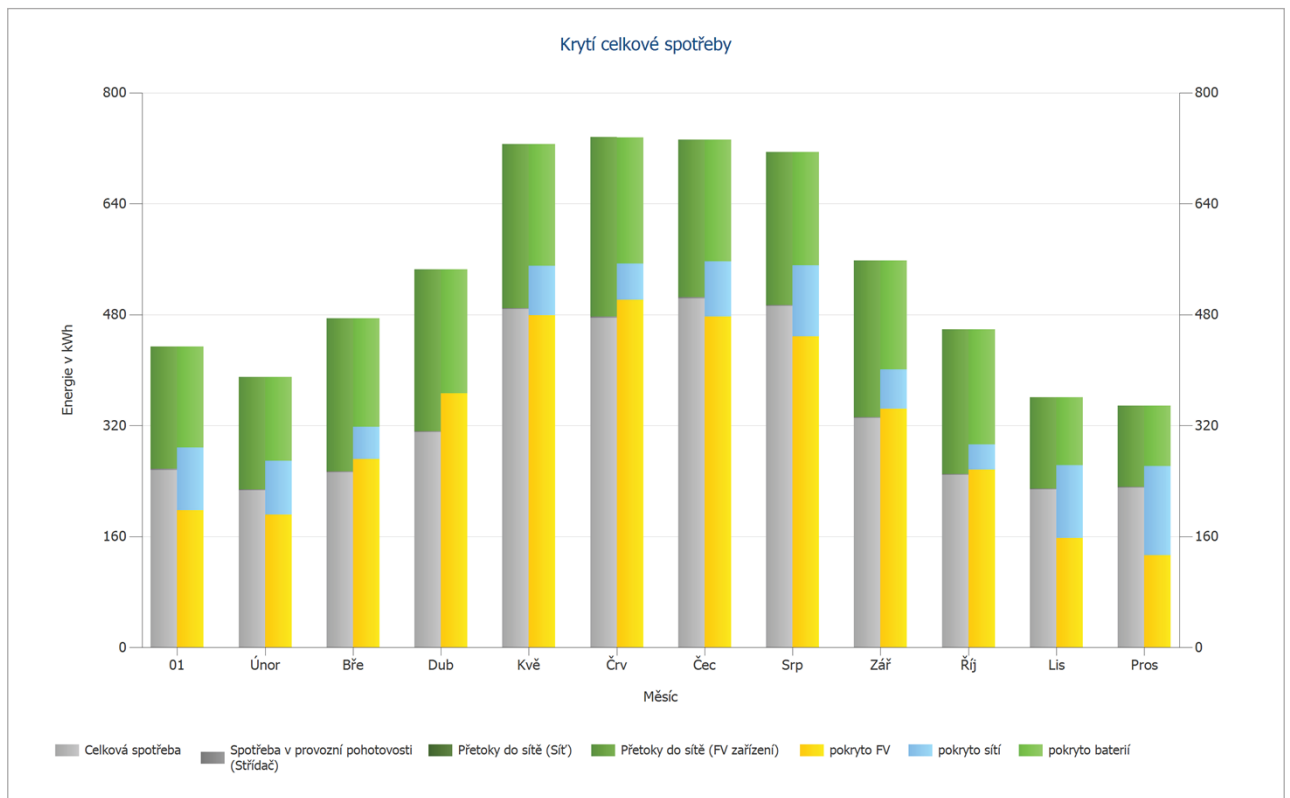
Obrázek: Využívání FV energie



Obrázek: Krytí spotřeby

4,1 kWp - jižní strana

Číslo nabídky: DP003



Obrázek: Krytí celkové spotřeby

Analýza hospodárnosti

Přehled

Data zařízení

| | |
|---|-------------|
| Síťové napájení v prvním roce (včetně degradace modulů) | 367 kWh/Rok |
| Instalovaný výkon | 4,1 kWp |
| Uvedení zařízení do provozu | 08.04.2021 |
| Sledované období | 30 Roky |
| Úroky kapitálu | 0 % |

Hospodářské ukazatele

| | |
|--|---------------|
| Celková kapitálová rendita | 5,34 % |
| Kumulovaný finanční tok | 421 196,81 Kč |
| Doba amortizace | 15,9 Roky |
| Vlastní výrobní náklady elektrické energie | 2,6 Kč/kWh |

Přehled plateb

| | |
|-------------------------------|------------------|
| specifické investiční náklady | 78 914,39 Kč/kWp |
| Investiční náklady | 323 549,00 Kč |
| Jednorázové platby | 168 471,00 Kč |
| Podpory/Dotace | 155 000,00 Kč |
| Roční náklady | 0,00 Kč/Rok |
| Ostatní výnosy nebo úspory | 0,00 Kč/Rok |

Odměna za úspory

| | |
|------------------------------|------------------|
| Celkové odměny v prvním roce | 36,75 Kč/Rok |
| Úspory v prvním roce | 18 453,78 Kč/Rok |

ČEZ-2 (Example)

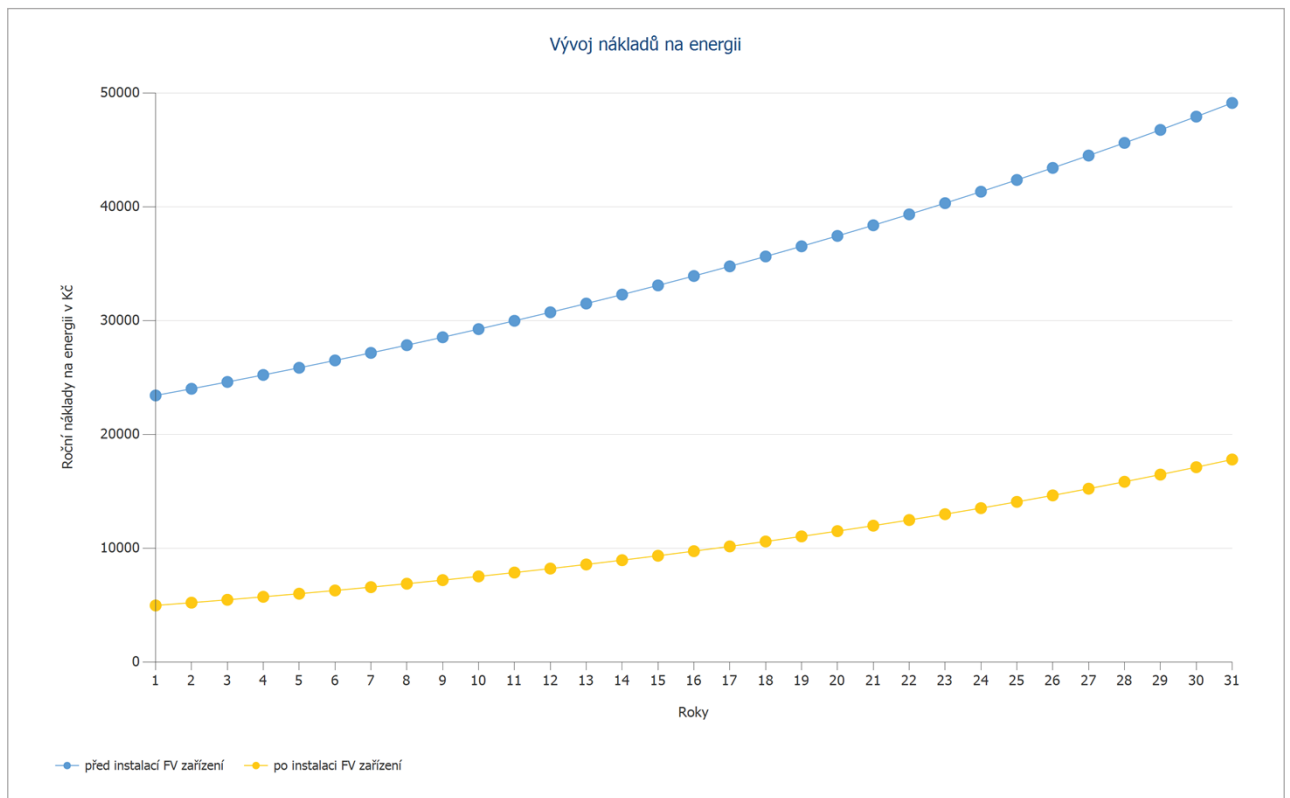
| | |
|-----------------------|---------------|
| Cena elektřiny | 5,79 Kč/kWh |
| Základní cena | 5,79 Kč/Měsíc |
| Inflace cen elektřiny | 2.5 %/Rok |

Odměny z přímo prodaného proudu

| | |
|---------------------------------|--------------|
| Cena za přímo prodaný proud | 0,10 Kč/kWh |
| Odměny z přímo prodaného proudu | 36,75 Kč/Rok |

4,1 kWp - jižní strana

Číslo nabídky: DP003



Obrázek: Vývoj nákladů na energii

4,1 kWp - jižní strana

Číslo nabídky: DP003

Cash flow

Tabulka peněžních toků

| | Rok 1 | Rok 2 | Rok 3 | Rok 4 | Rok 5 |
|---------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Investice | -323 549,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Jednorázové platby | -168 471,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Podpory/Dotace | 155 000,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Úhrada za nabíjení | 33,66 Kč | 36,51 Kč | 36,28 Kč | 36,05 Kč | 35,81 Kč |
| Úspory při odběru proudu | 18 230,35 Kč | 18 794,93 Kč | 19 141,60 Kč | 19 493,87 Kč | 19 851,77 Kč |
| Roční finanční tok | -318 756,00 Kč | 18 831,45 Kč | 19 177,88 Kč | 19 529,92 Kč | 19 887,59 Kč |
| Kumulovaný finanční tok | -318 756,00 Kč | -299 924,55 Kč | -280 746,67 Kč | -261 216,75 Kč | -241 329,16 Kč |

| | Rok 6 | Rok 7 | Rok 8 | Rok 9 | Rok 10 |
|---------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Investice | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Jednorázové platby | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Podpory/Dotace | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Úhrada za nabíjení | 35,58 Kč | 35,35 Kč | 35,11 Kč | 34,88 Kč | 34,65 Kč |
| Úspory při odběru proudu | 20 215,39 Kč | 20 584,78 Kč | 20 960,02 Kč | 21 341,14 Kč | 21 728,22 Kč |
| Roční finanční tok | 20 250,97 Kč | 20 620,12 Kč | 20 995,13 Kč | 21 376,02 Kč | 21 762,86 Kč |
| Kumulovaný finanční tok | -221 078,20 Kč | -200 458,07 Kč | -179 462,94 Kč | -158 086,93 Kč | -136 324,06 Kč |

| | Rok 11 | Rok 12 | Rok 13 | Rok 14 | Rok 15 |
|---------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Investice | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Jednorázové platby | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Podpory/Dotace | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Úhrada za nabíjení | 34,41 Kč | 34,18 Kč | 33,95 Kč | 33,71 Kč | 33,48 Kč |
| Úspory při odběru proudu | 22 121,32 Kč | 22 520,49 Kč | 22 925,79 Kč | 23 337,28 Kč | 23 755,02 Kč |
| Roční finanční tok | 22 155,73 Kč | 22 554,67 Kč | 22 959,74 Kč | 23 370,99 Kč | 23 788,50 Kč |
| Kumulovaný finanční tok | -114 168,33 Kč | -91 613,66 Kč | -68 653,92 Kč | -45 282,93 Kč | -21 494,43 Kč |

| | Rok 16 | Rok 17 | Rok 18 | Rok 19 | Rok 20 |
|---------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Investice | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Jednorázové platby | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Podpory/Dotace | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Úhrada za nabíjení | 33,25 Kč | 33,01 Kč | 32,78 Kč | 32,55 Kč | 32,31 Kč |
| Úspory při odběru proudu | 24 179,06 Kč | 24 609,46 Kč | 25 046,26 Kč | 25 489,53 Kč | 25 939,29 Kč |
| Roční finanční tok | 24 212,31 Kč | 24 642,48 Kč | 25 079,04 Kč | 25 522,08 Kč | 25 971,61 Kč |
| Kumulovaný finanční tok | 2 717,88 Kč | 27 360,36 Kč | 52 439,39 Kč | 77 961,47 Kč | 103 933,07 Kč |

| | Rok 21 | Rok 22 | Rok 23 | Rok 24 | Rok 25 |
|---------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Investice | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Jednorázové platby | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Podpory/Dotace | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Úhrada za nabíjení | 32,08 Kč | 31,85 Kč | 31,61 Kč | 31,38 Kč | 31,15 Kč |
| Úspory při odběru proudu | 26 395,62 Kč | 26 858,56 Kč | 27 328,14 Kč | 27 804,43 Kč | 28 287,43 Kč |
| Roční finanční tok | 26 427,70 Kč | 26 890,41 Kč | 27 359,75 Kč | 27 835,81 Kč | 28 318,58 Kč |
| Kumulovaný finanční tok | 130 360,77 Kč | 157 251,18 Kč | 184 610,93 Kč | 212 446,74 Kč | 240 765,32 Kč |

| | Rok 26 | Rok 27 | Rok 28 | Rok 29 | Rok 30 |
|---------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Investice | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Jednorázové platby | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Podpory/Dotace | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Úhrada za nabíjení | 30,91 Kč | 30,68 Kč | 30,45 Kč | 30,21 Kč | 29,98 Kč |
| Úspory při odběru proudu | 28 777,21 Kč | 29 273,81 Kč | 29 777,24 Kč | 30 287,55 Kč | 30 804,76 Kč |
| Roční finanční tok | 28 808,13 Kč | 29 304,49 Kč | 29 807,69 Kč | 30 317,77 Kč | 30 834,75 Kč |

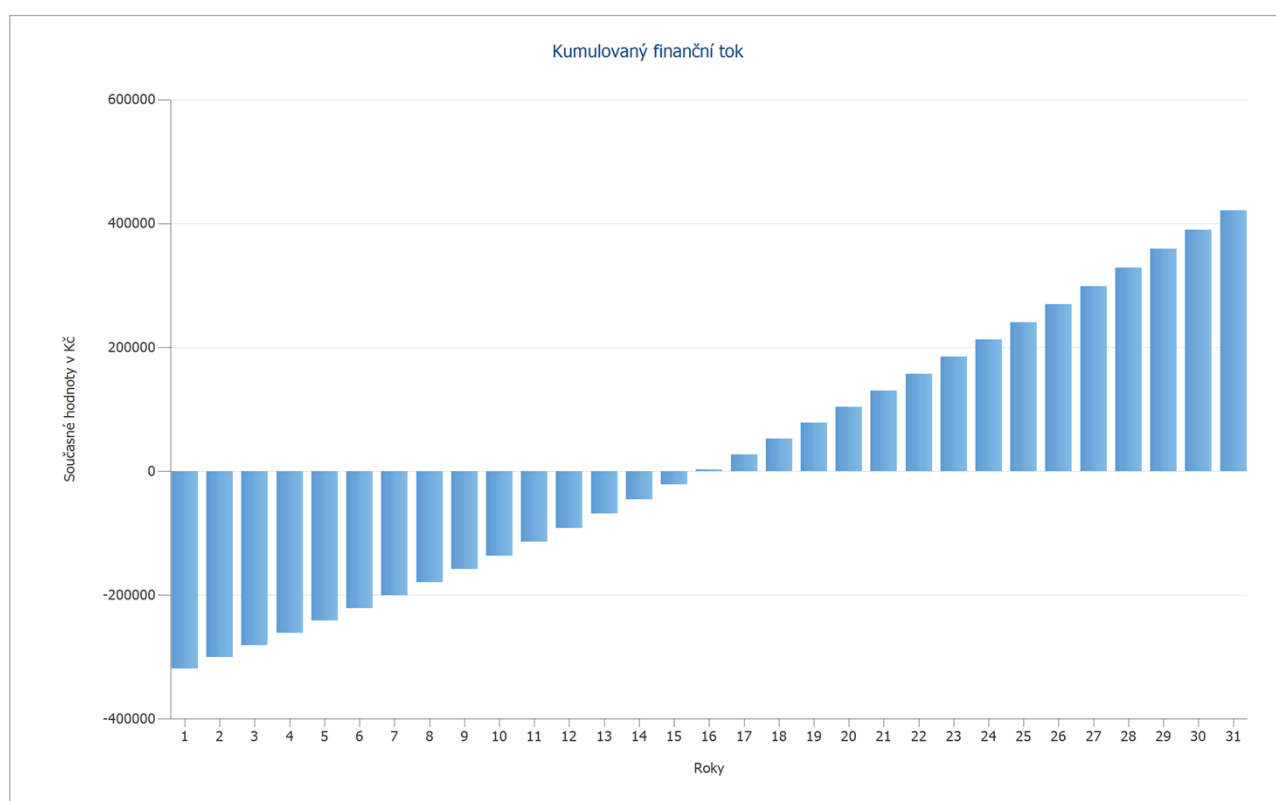
4,1 kWp - jižní strana

Číslo nabídky: DP003

Kumulovaný finanční tok 269 573,44 Kč 298 877,93 Kč 328 685,62 Kč 359 003,39 Kč 389 838,14 Kč

| | Rok 31 |
|---------------------------|---------------------|
| Investice | 0,00 Kč |
| Jednorázové platby | 0,00 Kč |
| Podpory/Dotace | 0,00 Kč |
| Úhrada za nabíjení | 29,75 Kč |
| Úspory při odběru proudu | 31 328,92 Kč |
| Roční finanční tok | 31 358,67 Kč |
| Kumulovaný finanční tok | 421 196,81 Kč |

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



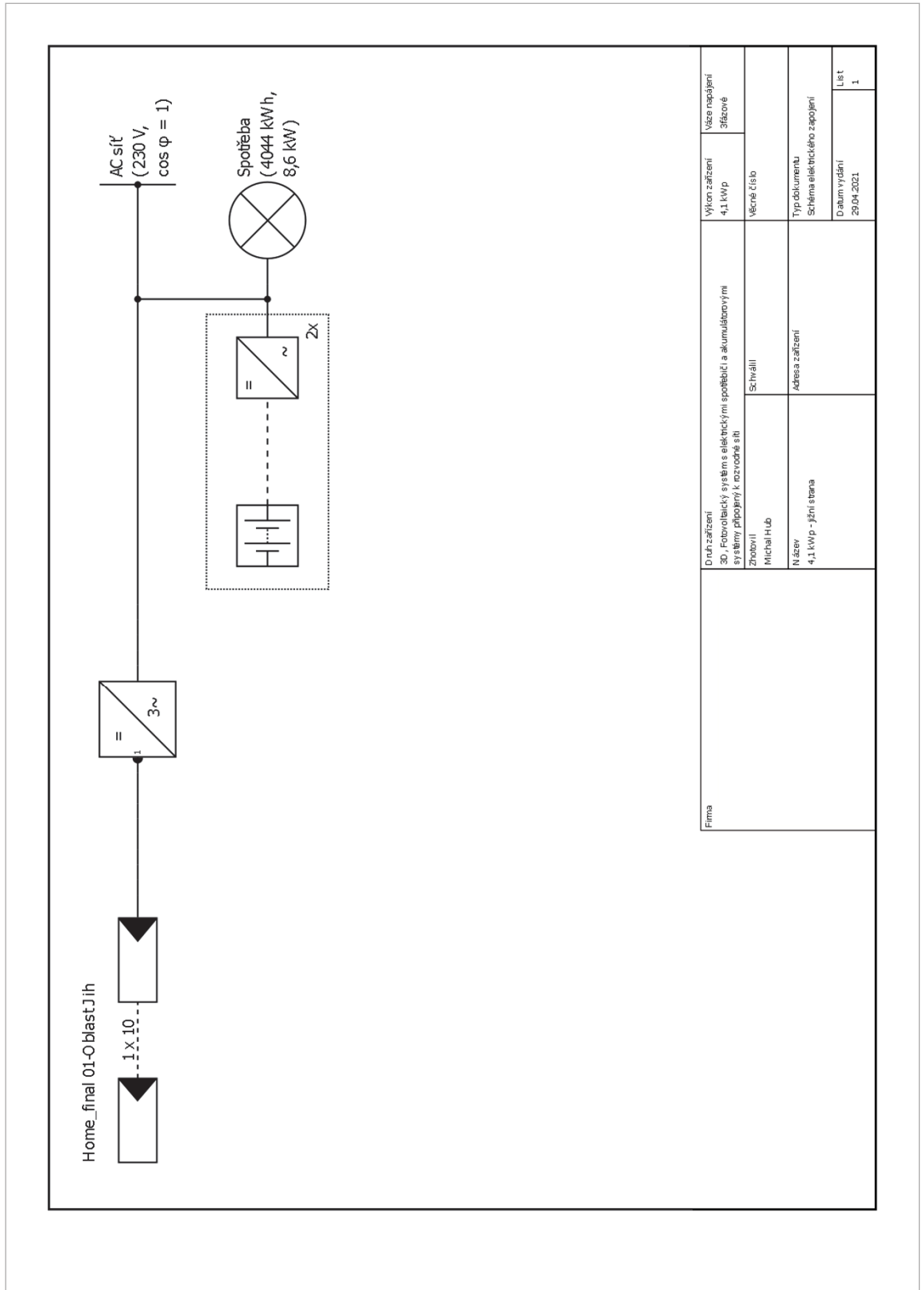
Obrázek: Kumulovaný finanční tok

4,1 kWp - jižní strana

Číslo nabídky: DP003

Výkresy a kusovníky

Schéma elektrického zapojení

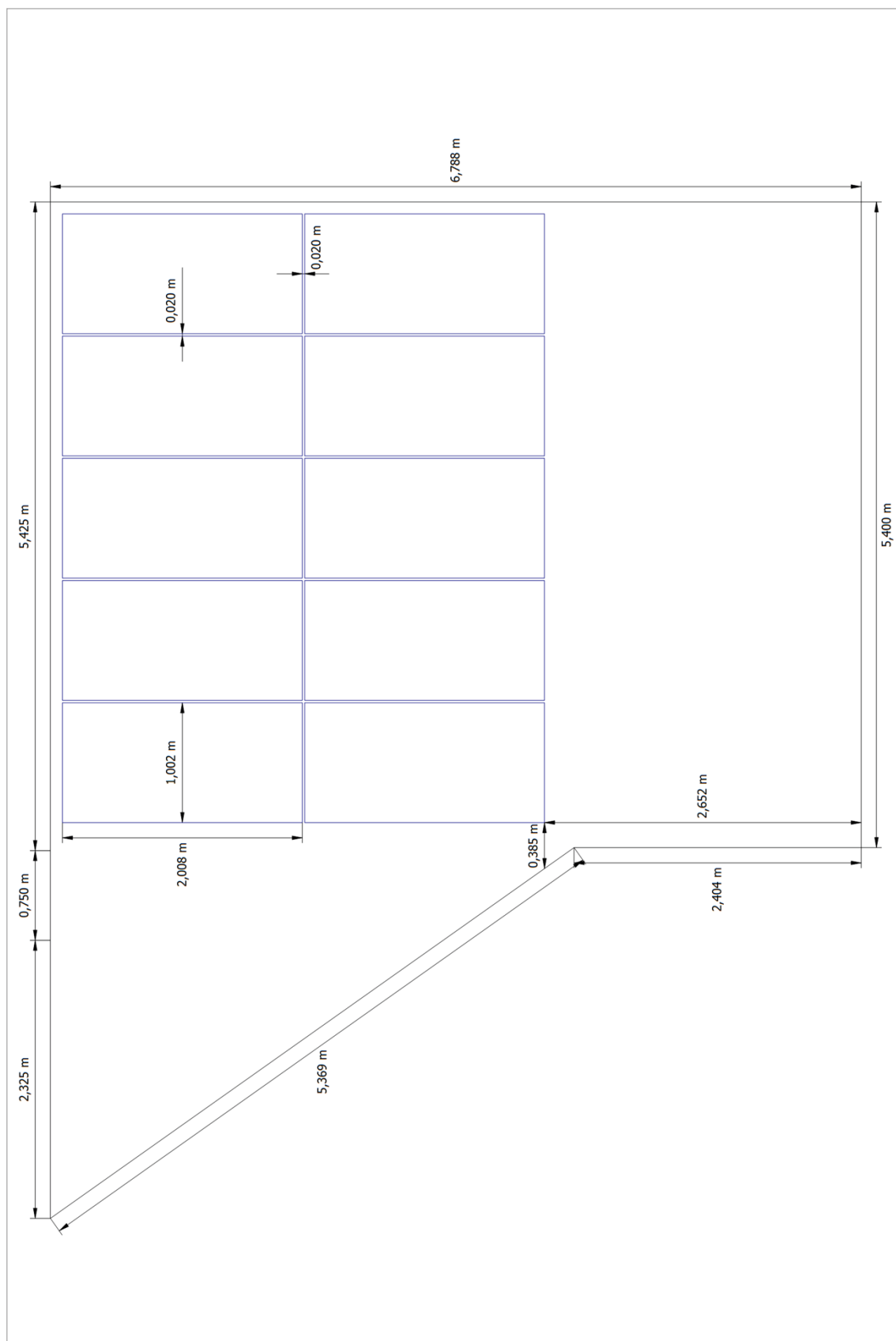


Obrázek: Schéma elektrického zapojení

4,1 kWp - jižní strana

Číslo nabídky: DP003

Rozměrový výkres



Obrázek: Home_final 01-Oblast Jih

4,1 kWp - jižní strana

Číslo nabídky: DP003

Kusovník

Kusovník

| # | Typ | Číslo položky | Výrobce | Jméno | Množství | Jednotka |
|---|----------------|---------------|-----------------------------|------------------------------------|----------|----------|
| 1 | FV modul | | AXITEC Energy GmbH & Co. KG | AXIblackpremium X HC AC-410MH/144V | 10 | Kus |
| 2 | Střídač | | GoodWe Solar Inverter | GW5K-ET | 1 | Kus |
| 3 | System baterií | | ASD GmbH | ASD Hybrid 10 XTM4000 | 2 | Kus |