



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

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Roman Řihák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

BRNO 2020



Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav elektrotechnologie

Student: Roman Řihák

ID: 203335

Ročník: 3

Akademický rok: 2019/20

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 řešení FVE + bateriové úložiště pro rodinný dům dle konkrétního zadání.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 8.6.2020

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

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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 bakalářská práce se zabývá návrhem fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro domácnost. V teoretické části je zprvu rozebrán princip a vysvětlení funkce fotovoltaických článků a akumulátorů. Práce se dále zabývá popisem fotovoltaických systémů a systémem akumulace energie v akumulátorech. V závěrečné části je rozebrán samotný systém i s legislativními podmínkami. V praktické části práce je ukázán návrh fotovoltaické elektrárny pomocí programu PV*SOL.

KLÍČOVÁ SLOVA

fotovoltaika; fotovoltaický článek; PN přechod; sluneční záření; fotovoltaický systém; akumulátor; střídač;

ABSTRACT

This bachelor work deals with the design of a photovoltaic power plant with a battery storage for household purposes. In the theoretical part are mentioned principles and explanation of the function of photovoltaic cells and accumulators. The thesis also deals with the description of photovoltaic systems and the system of accumulation of energy in accumulators. In the final part are the system and legislative conditions analyzed. In the practical part of the work is shown photovoltaic power plant design with PV*SOL software.

KEYWORDS

photovoltaics; photovoltaic cell; PN transition; sunshine; photovoltaic system; accumulator; inverter;

ŘIHÁK, R. *Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům.*
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních
technologií, Ústav mikroelektroniky, 2020. 61 s., 30 s. příloh. Bakalářská práce.
Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: *Roman Řihák*

VUT ID studenta: *203335*

Typ práce: *Bakalářská práce*

Akademický rok: *2019/20*

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

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **5. června 2020**

.....
Podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

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

OBSAH

Úvod	1
1 Energie slunečního záření	2
2 FV panely	4
2.1 Fotovoltaika	4
2.2 Fotovoltaický jev	4
2.3 Křemík	5
2.3.1 Výroba křemíku	5
2.4 Technologie výroby FV článků	5
2.4.1 Substrátové.....	5
2.4.2 Technologie tenké vrstvy	7
2.5 FV panely.....	11
2.5.1 Výroba FV panelů.....	11
2.5.2 Účinnost a životnost FV panelů.....	12
2.5.3 Údržba a nosné konstrukce	13
3 Akumulátory	15
3.1 Lithiové.....	15
3.1.1 Lithium – iontový (Li-Ion)	16
3.1.2 Lithium – polymerové (Li-Pol).....	16
3.1.3 Lithium – železo – fosfát	17
3.1.4 Lithium – titan (LTO).....	17
3.2 Olověné.....	17
3.2.1 Klasické akumulátory se zaplavenými deskami a odvětrávacími zátkami.....	18
3.2.2 Klasické akumulátory se zaplavenými deskami, hermeticky uzavřené..	18
3.2.3 AGM VRLA akumulátory	19
3.2.4 Gelové VRLA akumulátory	19
4 FV systémy	20
4.1 Autonomní FV systém	20
4.2 FV systém spojený se sítí.....	21

4.3	Hybridní FVE	22
5	Solární energie v České republice	23
5.1	Výhody.....	23
5.2	Dotace	24
5.2.1	Nová Zelená úsporám	24
5.3	Zákony a předpisy.....	25
5.3.1	Legislativa upravující provozování FVE.....	25
5.3.2	Daňová legislativa.....	25
5.3.3	Zdravotní pojištění	26
5.3.4	Sociální pojištění.....	26
6	Počítačové programy pro návrh FV elektrárny	27
6.1	PV manager.....	27
6.2	Sinvert Select	28
6.3	Polysun.....	28
6.3.1	Polysun Photovoltaic Simulation.....	29
6.4	PV*SOL premium	29
7	NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY PRO RODINNÝ DŮM	32
7.1	Poloha domu	32
7.2	Zátěžový profil domácnosti	32
7.3	Model domu.....	33
7.4	Solární panely	35
7.5	Střídač a propojení panelů	35
7.6	Výběr akumulátoru	36
7.7	Optimalizace kabeláže a jisticích prvků	37
7.8	Finanční analýza	38
7.9	Vyhodnocení FVE	42
8	Závěr	45
	Literatura	47
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	51
	Seznam obrázků	51
	Seznam příloh	53

ÚVOD

Elektřina doprovází lidstvo po dlouhou dobu, ale teprve v 19. století zažila svůj největší rozkvět. V té době byla např. patentována žárovka nebo vynalezen telefon. V počátcích se lidé elektřiny báli, protože to bylo něco nového, co předtím neznali. Avšak postupem času si lidstvo na elektřinu zvyklo a v dnešní době si bez ní život nelze představit. Člověk se s ní setkává takřka na každém kroku ať už v podobě osvětlení, provozu strojů ve výrobě nebo v bateriích používaných v přenosných zařízeních.

Primárně se elektřina vyrábí pomocí generátoru, který se roztočí a tím se produkuje elektrický proud. Generátor je roztáčen např. pomocí páry, proudu vody, proudění vzduchu, atd. Elektřinu lze také vyrábět např. pomocí fotovoltaických (FV) panelů, které nemají žádné pohyblivé části, jsou tvořeny přechodem P-N. Zdroje dělíme na obnovitelné a neobnovitelné. Mezi neobnovitelné zdroje se řadí jaderná energie, energie získaná v tepelných elektrárnách spalováním fosilních paliv hlavně v podobě černého a hnědého uhlí, popřípadě spalováním ropy a zemního plynu, což způsobuje poškozování klimatu. Z tohoto důvodu se lidstvo snaží zaměřit na obnovitelné zdroje elektrické energie v podobě energie získané ze slunce, větru, vody, atd.

Tato bakalářská práce se zabývá využitím solární energie, kterou FV panely přemění na elektrickou energii, jež bude využívána pro provoz domácnosti. Fotovoltaická elektrárna (FVE) bude zhotovena jako hybridní systém Off – grid, s panely umístěnými na střeše rodinného domu, elektřina kterou vyrobí, bude buď okamžitě spotřebována, popřípadě uložena do baterií, pro provoz, kdy bude slunečního záření nedostatek. Celý návrh bude proveden na počítači.

V první části bakalářské práce je rozebrána a vysvětlena teorie od energie ze slunečního záření v podmínkách České republiky přes samotný princip a výrobu FV článku, jednotlivé typy používaných akumulátorů pro uchování energie, druhy FV systémů, výhody, dotace, legislativu až po druhy počítačových programů pro návrh FVE.

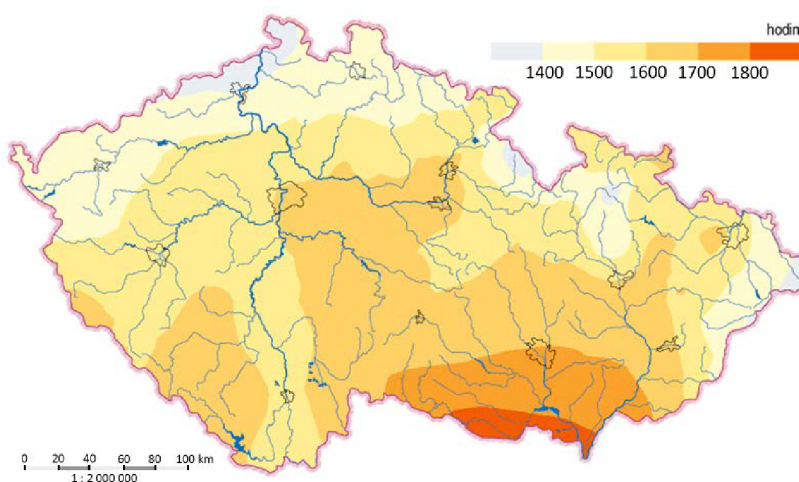
Druhá část bude zaměřena na realizaci FVE pro rodinný dům, pomocí počítačového programu PV*SOL premium, který se specializuje na FV.

1 ENERGIE SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ

Primární vstupní energií ve FV je sluneční záření, jeho intenzita, složení a doba trvání má zásadní vliv na celkovou účinnost FV systému [4].

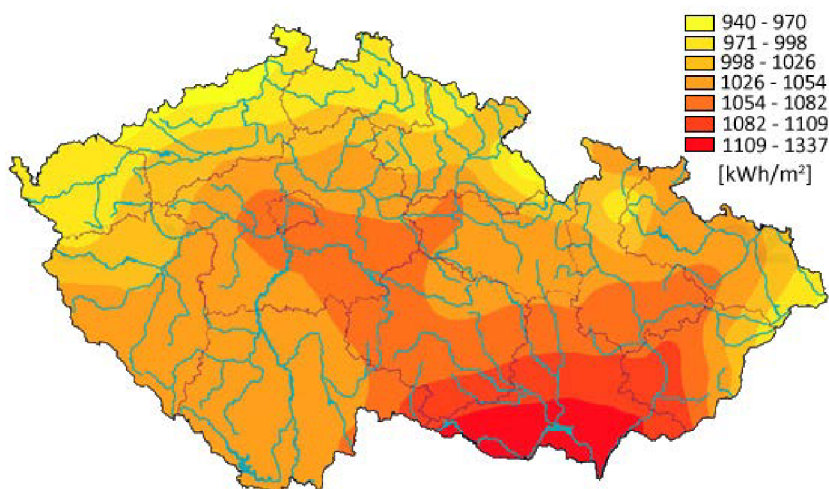
Využitelnost

Z hlediska využívání solární energie je nejdůležitějším faktorem intenzita záření a počet hodin slunečního svitu v jednotlivých ročních obdobích, případně i součinitel znečištění atmosféry. Solární energie je především závislá na počasí a ročním období, nicméně je dostupná a využitelná prakticky všude (viz Obr. 1.1) [4].



Obr. 1.1: Mapa trvání slunečního svitu v ČR, převzata z [16].

Podmínky pro využití sluneční energie jsou na území České republiky poměrně dobré. Celková doba slunečního svitu (bez oblačnosti) je od 1 400 do 1 700 hodin za rok [16].



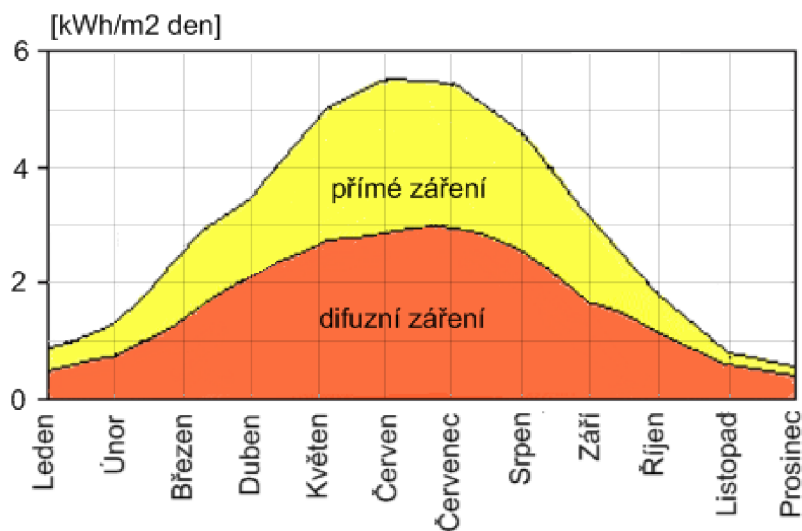
Obr. 1.2: Roční souhrn globálního slunečního záření v ČR [kWh/m²], převzata z [16].

V podmínkách České republiky dopadne na jeden m^2 zhruba 950 – 1340 kWh sluneční energie z čehož největší část (asi 75 %) v letním období (viz Obr. 1.2). Pokud je účinnost FV panelu přibližně 14 %, lze dostat z plochy 1 m^2 asi 133 – 188 kWh elektrické energie za rok [16].

Přímé a difuzní záření

Při jasné a bezmračné obloze dopadá největší část slunečního záření na Zemi, aniž by změnilo směr. Toto záření se nazývá přímé. Rozptylem přímého záření v mracích a na částech v atmosféře vzniká záření difuzní, které na Zemi přichází ze všech směrů. Součet intenzity přímého a intenzity difuzního slunečního záření na horizontálním zemském povrchu se nazývá globální sluneční záření (viz Obr. 1.3) [4].

Z hlediska FV platí, že FV panely složené z monokrystalických nebo polykrystalických FV článků potřebují k dosažení maximální výtěžnosti zejména přímé záření, tedy přímé sluneční světlo. Tenkovrstvé FV panely vyrobené na bázi amorfního křemíku, umějí dobře zužitkovat i záření difuzní a proto v celoročním úhrnu vyrobí tenkovrstvý panel více energie (asi o 10%) než panel z mono či polykrystalických křemíkových článků [4].



Obr. 1.3: Přímé a difuzní záření v podmínkách ČR, převzato z [4].

2 FV PANELY

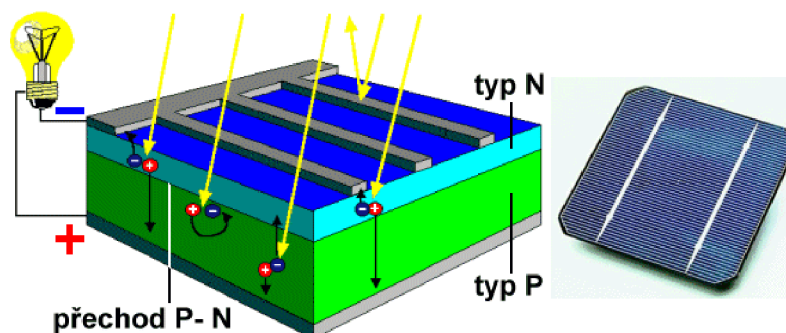
2.1 Fotovoltaika

FV je technologie pro přímou přeměnu slunečního záření na elektřinu. Jedná se o jediný zdroj elektřiny bez pohyblivých součástí. FV je považována za trvale udržitelnou technologii, a to ze dvou důvodů. Především využívá nejdostupnější obnovitelný zdroj energie na Zemi – sluneční záření. Množství slunečního záření, které každoročně dopadne na zemský povrch, je 4000 krát větší než veškerá spotřeba energie celého lidstva. Druhý důvod je, že energie vložená do výroby FV panelů a dalších komponent fotovoltaické elektrárny (FVE) se v podmínkách České republiky vrátí zhruba za 5- 10 let, přičemž očekávaná životnost panelů přesahuje 30 let [30].

2.2 Fotovoltaický jev

Jde o fyzikální proces, umožňující přeměnu slunečního záření na elektrickou energii. Základem je použití polovodičové diody. Polovodiče jsou látky, které se za určitých podmínek chovají jako izolanty a při změně jako vodiče. Právě toho je využíváno při výrobě elektrické energie. Nejčastějším polovodičem používaným v solárních panelech je křemík. Základ krystalické mřížky tvoří čtyřmocný křemík a kolem jsou valenční elektrony. Ty jsou ve tmě a při nízké teplotě pevně vázány ke křemíku. V případě osvětlení a zvýšení teploty dojde k uvolnění těchto záporných elektronů a vznikají tak kladné díry. Tuto díru může zaplnit zase jiný uvolněný elektron a vzniká dojem, že se tyto díry stěhují. Vznik a stěhování těchto děr je podstatou FV jevu [2], [30].

Při výrobě FV článku je použita tenká vrstva křemíkového polovodiče s vodivostí typu P, která je pokryta tenkou vrstvou polovodiče typu N. Vznikne tedy přechodná vrstva P-N. Při osvětlení dojde k pohybu elektronů a mezi vrstvami P a N vznikne elektrické napětí, které u křemíkových článků dosahuje kolem 0,5 V (viz Obr. 2.1). Pokud se připojí k článku malý motorek, začne obvodem proudit elektrický proud [2]. Je-li potřeba větší proud nebo napětí, zapojují se jednotlivé články sériově nebo paralelně a vytváří se tak FV panely.



Obr. 2.1: FV jev - přechod P-N, převzato z [3].

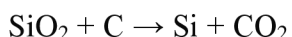
Proud, který může být ze slunečního článku odebírán, je úměrný velikosti ozařované plochy článku. Výkon křemíkových FV článků o ploše 1 m² je 80 – 100 W, účinnost přeměny světelné energie na energii elektrickou závisí na struktuře materiálu a způsobu výroby článku [3].

2.3 Křemík

V současnosti jsou nejvíce rozšířeny FV panely na bázi křemíku, ať už Si - monokrystalické, polykrystalické či amorfni na bázi tenkých vrstev. Křemík má mnoho výhod. Je hojně zastoupen v zemské kůře dokonce jako jeden z nejrozšířenějších prvků. Proto je relativně levný, snadno dostupný, není jedovatý a je nejvíce používaným polovodičem. V přírodě se vyskytuje většinou ve formě křemene neboli oxidu křemičitého (SiO₂). V této formě je mechanicky odolný a chemicky stabilní. Šířka zakázaného pásu čistého křemíku je $\Delta E_g \approx 1,1$ eV [5].

2.3.1 Výroba křemíku

Surový křemík se vyrábí z písku redukcí uhlíkem v obloukové peci, kde dochází k celému řetězci chemických reakcí. Pro výchozí a konečné produkty, lze zjednodušeně vše vyjádřit jedinou rovnicí [5]:



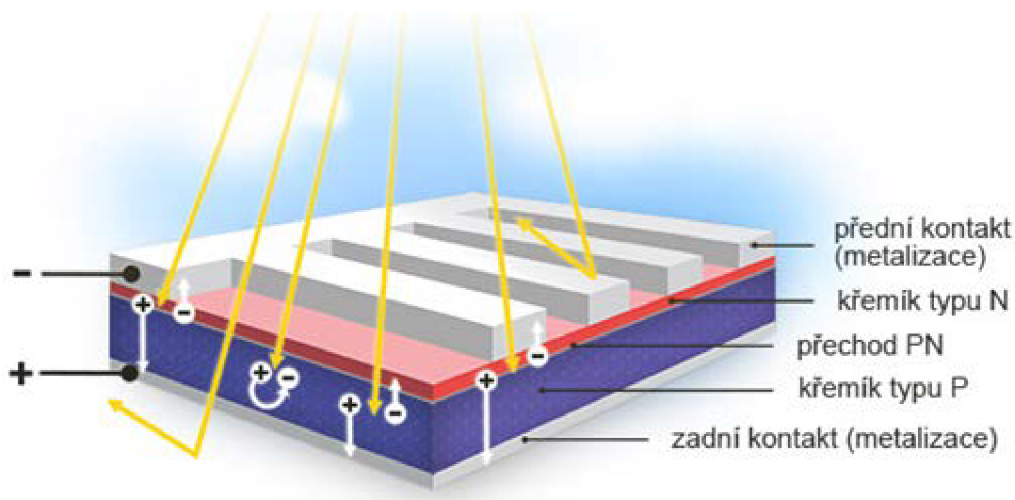
Do obloukové pece se shora kontinuálně vpravuje písek promíchaný s mletým karbonizovaným uhlím (koksem). Směrem dolů stoupá teplota a v jednotlivých úrovních probíhají chemické reakce. Dole v zóně s teplotou cca $T \approx 2\,000$ °C se hromadí roztavený křemík, který je v pravidelných intervalech odléván. Takto získaný surový křemík hutní kvality má čistotu až 99 %, zhruba 1 % nečistot tvoří nejvíce příměsi železa, hliníku a uhlíku. Pro použití v polovodičové výrobě je však potřebná mnohem větší čistota. Proto je třeba surový křemík vyčistit [5].

2.4 Technologie výroby FV článků

2.4.1 Substrátové

Klasický krystalický solární článek se skládá ze dvou rozdílně dotovaných křemíkových vrstev. Strana obrácená ke slunečnímu světlu je záporně dotována fosforem, vrstva ležící pod ní je kladně dotována bórem. Aby bylo možné ze solárního článku odebírat proud, jsou na přední a zadní straně umístěny kovové elektrody jako kontakty. Na zadní straně je většinou celoplošná elektroda. Přední strana musí co nejlépe propouštět světlo, a proto se kontakty většinou skládají z tenké mřížky, která zakrývá jen velmi malou část plochy povrchu článku (viz Obr. 2.2). Na zadní straně je možné umístění celoplošné kontaktní vrstvy pomocí hliníkové nebo stříbrné pasty. Umístění elektrod se většinou provádí sítotiskovou technikou. Na povrchu článku by se světlo mělo co nejlépe

odrážet, aby se co nejvíce fotonů absorbovalo. Proto se na povrch článku umísťuje antireflexní vrstva, která dává šedým křemíkovým monokrystalickým článkům jejich typickou černou barvu, popřípadě modrou barvu u polykrystalických článků [1].



Obr. 2.2: Princip tlustovrstvého FV článku, převzato z [8].

FV články se vyrábějí z křemíkových plátek, ať už z monokrystalického nebo polykrystalického křemíku. V současné době se touto technologií vyrábí více než 85 % solárních článků na trhu [6].

Monokrystalický článek

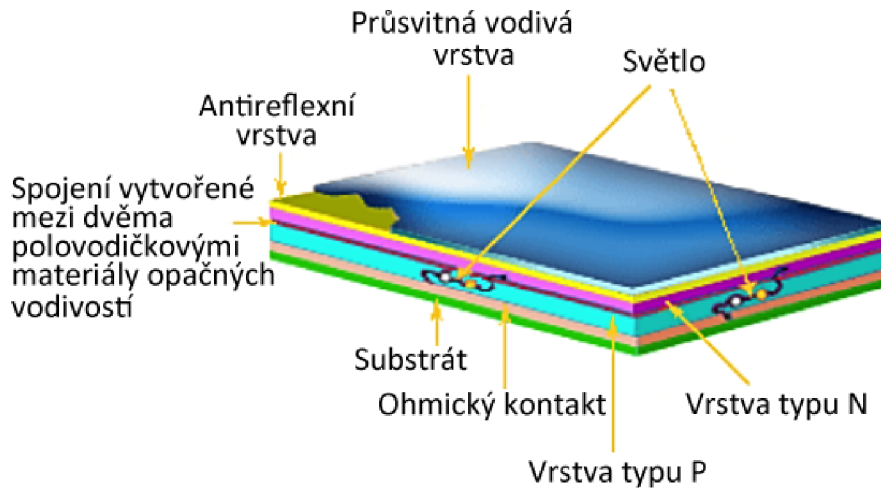
Pro výrobu monokrystalického článku je třeba vyrobit jednolitý ingot křemenného krystalu. Taková výroba je poměrně náročná. Kulatý ingot se později řeže na tzv. wafery, které se oříznou na požadovanou velikost FV článku. Protože ingot vznikl jako jeden velký krystal křemíku, je jeho struktura jednolitá a velice čistá [7]. Díky tomu bude pomaleji stárnout a články budou mít větší účinnost při přímém slunečním svitu. Je vhodné je orientovat směrem ke Slunci. V laboratorních postupech je na monokrystalickém křemíku dosahováno účinnosti až 24 %. Účinnost sériově vyráběných solárních článků je typicky do 14 % a v současnost i 15 % [39].

Polykrystalický článek

Pro získání polykrystalického ingotu stejné velikosti je použit jiný postup. Technologicky jednodušší je nechat vykrystalizovat množství menších křemíkových krystalů, než jednoho kompaktního. Z menších krystalů se vyrobí substrát, který se slisuje do jednoho celku. Další postup je již stejný s monokrystalem. Pochopitelně touto technologií nelze docílit takové čistoty materiálu, jsou v něm viditelné přechody mezi krystaly [7]. Vzhledem k tomu, že je článek vyrobený z menších křemíkových krystalů, bude lépe pobírat světlo z více úhlů, a proto se hodí jako pevná instalace např. na domy, chaty atd. Laboratorní solární články dosahují účinnosti 18 % a v podmínkách hromadné výroby nepřesahují 14 % [39].

2.4.2 Technologie tenké vrstvy

Při výrobě tenkovrstvých článků se materiál solárních článků na rozdíl od substrátových metod nanáší v tenoučké vrstvě několika mikrometrů na sklo, umělé hmoty nebo kovové fólie. Používané metody potřebují teploty pouze mezi 200 °C a 500 °C (místo 1500 °C u krystalických křemíkových článků). Zatímco při výrobě modulů krystalických solárních článků se článek za článkem jednotlivě vzájemně propojuje pájením, je elektrické propojení tenkovrstvých článků integrováno již do výroby článků. Přední kontakty jsou zde tvořeny vysoce vodivou a průhlednou vrstvou oxidu kovu, tzv. vrstvou TCO. Články a moduly se vyrábějí kombinovaným procesem, přitom se provádí elektrické oddělení a propojení článků strukturálními kroky zahnutými do výrobního procesu. Jeden článek tak představuje dlouhý, 1 cm široký polovodičový proužek. Pro ochranu se konstrukce opatří skleněnou tabulí a zapouzdří se kompozitním materiálem (kopolymér etylén – vinylacetát) [1].



Obr. 2.3: Struktura tenkovrstvých článků, převzato z [40].

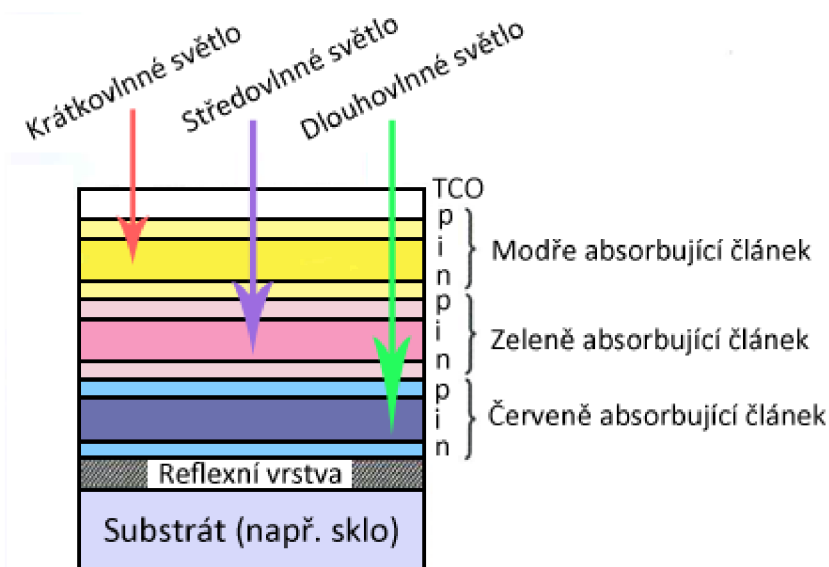
Největší nevýhodou tenkovrstvých článků je jejich menší účinnost. Ve srovnání s krystalickými křemíkovými články dosahují asi jen poloviny jejich hodnot. Nejvýkonnější tenkovrstvé moduly ovšem dosahují účinnosti standardních polykrystalických modulů. Tato nevýhoda se relativizuje, pokud je k dispozici dostatečně velká plocha a celkové náklady včetně projektování, montáže a instalace jsou obzvláště příznivé. A navzdory relativně nízké účinnosti může být energetický výnos za určitých podmínek opravdu vysoký [1].

Amorfni křemíkové články

Klasickým materiálem tenkovrstvé technologie je amorfni křemík. Amorfni křemík netvoří pravidelnou krystalickou strukturu, nýbrž neuspořádanou síť. Dotovaný amorfni křemík má velmi krátkou difuzní vzdálenost, volné nosiče náboje by ihned opět rekombinovaly, příspěvek k výrobě proudu je tedy sotva možný. Proto se používá

vestavba intrinsické (nedotované) vrstvy mezi vrstvy P a N, ve které je životnost nosičů náboje podstatně vyšší. Zde se odehrává absorpce světla a vytváří se náboje, kdežto vrstvy P a N vytvářejí elektrické pole, které uvolněné nosiče náboje odděluje. Tato struktura se proto nazývá pin (viz Obr. 2.4) [1].

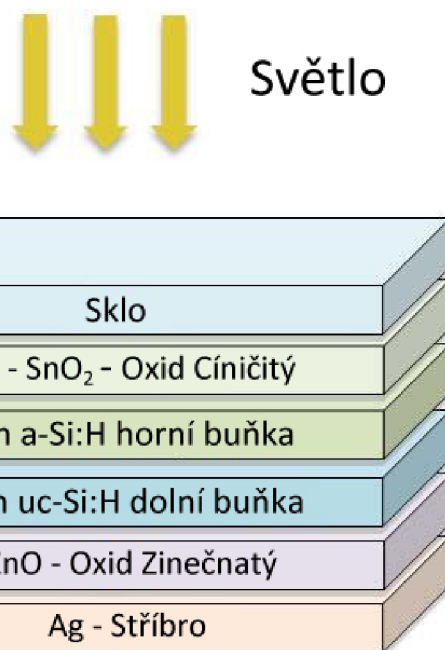
Malé experimentální moduly dosahují účinnosti 10 % a v případě sériově vyráběných modulů je účinnost 5 až 7 % [52]. Nevýhodou amorfních článků je jejich malá účinnost, která v důsledku stárnutí vyvolaného světlem v prvních šesti až dvanácti měsících dokonce ještě klesá, poté se však udržuje na stabilní hodnotě [1].



Obr. 2.4: Struktura vrstev amorfního třívrstvého článku, převzato z [1].

Mikromorfnní solární články

Mikromorfnní solární články jsou kombinací mikrokrytalického a amorfnního křemíku v tandemových článcích. Při výrobě se podobně jako u amorfnních solárních článků se silanem vyrobí při teplotě kolem 200 °C plazma a na sklo se nanese amorfnní křemíková vrstva o tloušťce asi 0,3 mikrometru. Změnou odlučovacích parametrů plazmy (teplota, tlak a mikrovlnná frekvence) pak na straně odvrácené od skla vznikne krytalická struktura o tloušťce 0,25 mikrometru, mikrokrytalická křemíková vrstva. Vrstvy se přitom strukturují, takže vzniknou povrchové struktury co nejvíce pyramidového tvaru, které mají lepší optické a elektrické vlastnosti než hladké struktury. Vznikající tandemový článek může lépe využívat sluneční spektrum a oproti čistě amorfnním článkům má dvojnásobnou účinnost, která dosahuje 11 % [1].



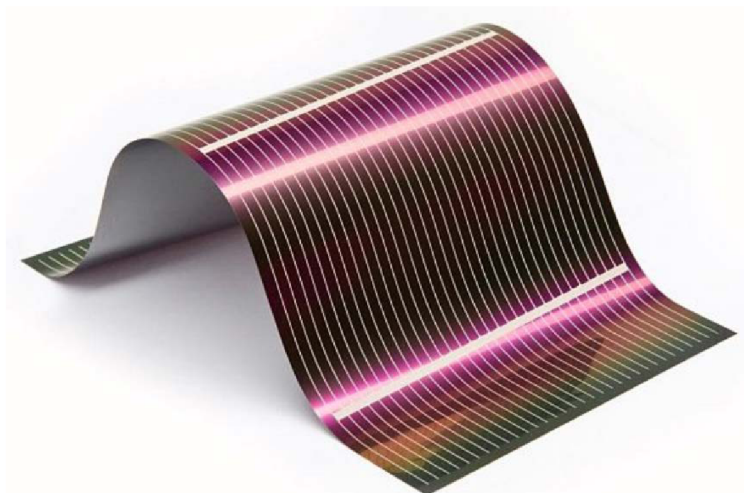
Obr. 2.5: Struktura mikromorfního vícevrstvého článku, převzato z [41].

Články CIS

Technika CIS (Copper – Indium - diSelenid, diselen mědi - india) dosahuje v současné době nejvyšších účinností u tenkovrstvých technologií. Při výrobě se nosné sklo ve vakuové komoře při teplotě asi 500 °C potáhne tenkou kontaktní vrstvou, na kterou se nanese absorpční vrstva CIS s vodivostí typu P. Následující nárazníková vrstva sulfidu kadmia a vodivostí typu N snižuje ztráty způsobené chybami v krystalové mřížce. Solární články CIS na rozdíl od amorfního křemíku nepodléhají procesu stárnutí vyvolaného světlem. Vykazují však problémy se stabilitou v horkém a vlhkém prostředí. Proto je třeba dbát na dobré zapouzdření proti vlhkosti [1]. Japonské společnosti Solar Frontier se v roce 2017 podařilo vyvinout tenkovrstvý článek s účinností ve výši 22,90 % [15].

Články CIGS

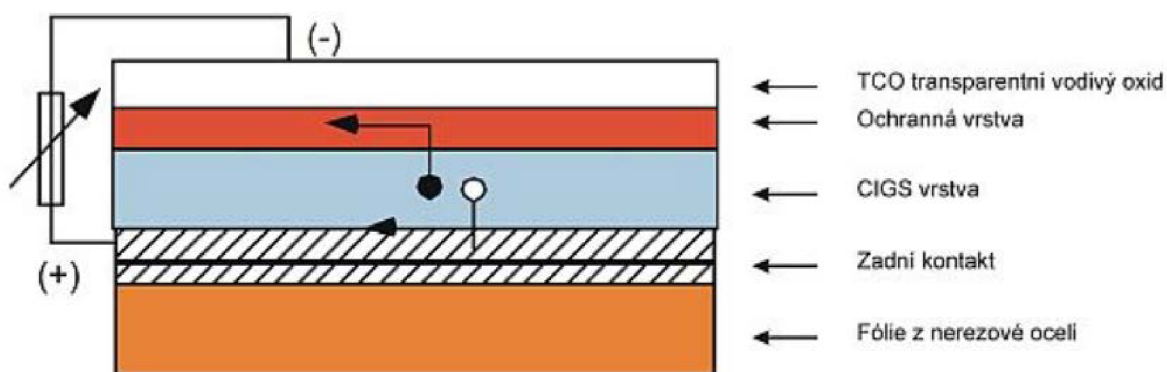
U těchto článků je P-N přechod složen ze čtyř prvků: měď, indium, galium a selen (CIGS). Jednotlivé vrstvy jsou nanášeny patentovanou napařovací technologií. Mezi hlavní výhody panelu patří jeho schopnost reagovat na červenou složku světla, která převládá při zatažené obloze nebo mlze. To představuje velkou výhodu v oblastech s počasím typickým pro střední Evropu. CIGS technologie je účinnější při malém osvětlení a proto je množství vyrobené elektrické energie větší než u křemíkových modulů. Panely je možno nainstalovat nejen na všechny typy střech, ale i na fasády domů. Moduly mají vysokou účinnost, dlouhou životnost, snadno se montují a jsou odolné vůči silnému větru a krupobití [10].



Obr. 2.6: Tenkovrstvý FV panel CIGS druhé generace, převzato z [10].

Při jejich výrobě dochází k úspoře materiálu - křemíku a použitá technologie je jednodušší v porovnání s technologií výroby s tradičním křemíkem. Tenkovrstvé články druhé generace se vyznačují mnohonásobně tenčí aktivní absorbující polovodičovou vrstvou [10].

CIGS technologie generuje více elektřiny ze stejného množství slunečního záření než ostatní tenkovrstvé články a proto dosahuje vyšší konverzní účinnosti. Účinnost CIGS technologie je také velmi stabilní tzn., nedegraduje. Výkon ostatních FV materiálů může rapidně klesat s dobou užívání. Materiál CuInSe_2 extrémně pohlcuje dostupné záření. Až 99 % světla je pohlceno v prvním mikronu materiálu. To z něj dělá optimální, efektivní FV materiál [10].



Obr. 2.7: Struktura tenkovrstvého FV panelu CIGS druhé generace, převzato z [10].

Přidáním malého množství galia se rozšíří absorpční pásmo, což více odpovídá solárnímu spektru, a tím zvýšení účinnosti solárního článku. CIGS články dosáhly účinnosti větší než 19 % a použité materiály splňují podmínky pro environmentální certifikaci a likvidaci [10].

2.5 FV panely

2.5.1 Výroba FV panelů

Solární panel (FV panel či modul) je soubor několika pospojovaných solárních článků obvykle do výkonu cca 300 W, které generují výstupní napětí odpovídající násobku napětí jednotlivých sériově připojených článků. Zdroje o větším výkonu skládající se z několika propojených solárních panelů se již obvykle nazývají solární elektrárny [11].

Solární články nebo jednotlivé solární panely mohou být propojeny [11]:

- **sériově** - zvyšuje výstupní napětí a zachovává výstupní proud jednotlivých panelů.
- **paralelně** - zvyšuje max. odebíraný proud a zachovává výstupní napětí jednotlivých panelů
- **sérioparalelně** - kombinuje sériové i paralelní pospojování pro získání potřebného výstupního napětí a proudu

Sériové zapojení, kde se vzájemně propojují kladné a záporné póly, slouží pro zvýšení výstupního napětí elektrárny, využívá se ho zejména u systémů dodávajících elektrickou energii do rozvodné sítě, kde je nutné generovat napětím až několik set voltů [11].

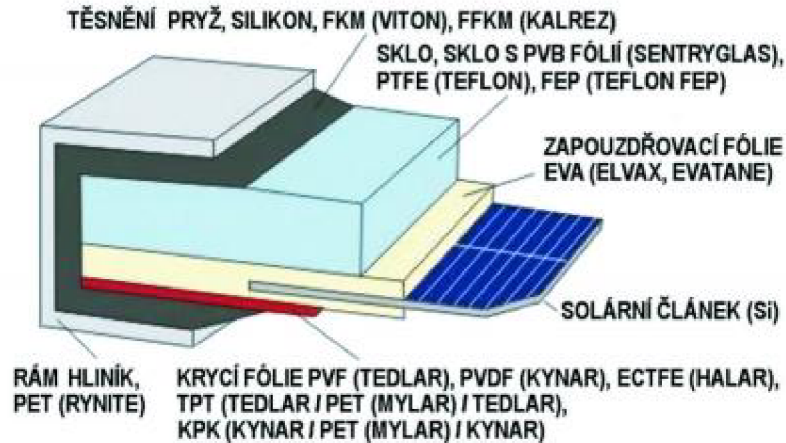
Naopak tam, kde se využívá solární elektřina jen lokálně (tzv. izolované systémy) a je zde potřeba zálohovat energii v akumulátorech s napětím 12 nebo 24 V DC, se využívá paralelního zapojení. To umožňuje zvyšovat generovaný elektrický výkon při zachování nízkého výstupního napětí zvýšením hodnoty dodávaného elektrického proudu [11].

K vzájemnému fyzickému propojení panelů do jedné velké celistvé plochy se využívá buď spojování měděnou páskou pomocí neagresivního tavidla a páječky (obvykle u panelů určených pro instalaci na střechy) nebo pomocí k tomu určených typů kabelů, popřípadě pomocí konektorů [11].

Při sériovém zapojení musí téct články či panely stejný proud. Nejsou-li sluncem ozářeny stejnoměrně, každý generuje různý elektrický proud a výstupní proud celé soustavy odpovídá nejhůře osvětlenému prvku. Proto například úplné zastínění jednoho z takto zapojených článků v panelu nebo jednoho panelu v solární elektrárně způsobí, že nepoteče žádný proud a tedy nebude dodáván žádný výkon, i když jsou ostatní články optimálně osvětleny. Z tohoto pohledu je paralelní zapojení výhodnější [11].

Aby FV panel mohl bezproblémově sloužit po dobu své životnosti je použito na jeho ochranu speciální kalené sklo, kvalitní FV panel tak odolá náročným povětrnostním i srážkovým podmínkám, tzn. větru, dešti, sněhu ale i krupobití. Solární panel by neměly poničit ani kroupy do průměru 2 – 2,5 cm. Pokud jsou panely správně

přichyceny na odpovídající nosné konstrukci, odolávají bez úhony i přívalům sněhu v horských oblastech. Na následujícím obrázku jsou dobře vidět použité materiály pro výrobu FV panelů (viz Obr. 2.8) [12].



Obr. 2.8: Složení FV panelu, převzato z [12].

2.5.2 Účinnost a životnost FV panelů

Účinnost solárních článků η je dána poměrem výkonu dodávaného solárním článkem a výkonu ozáření sluncem. Vypočítá se z elektrického výkonu v bodě maximálního výkonu P_{MPP} , slunečního ozáření e (ve W/m^2) a plochy A solárního článku takto [1]:

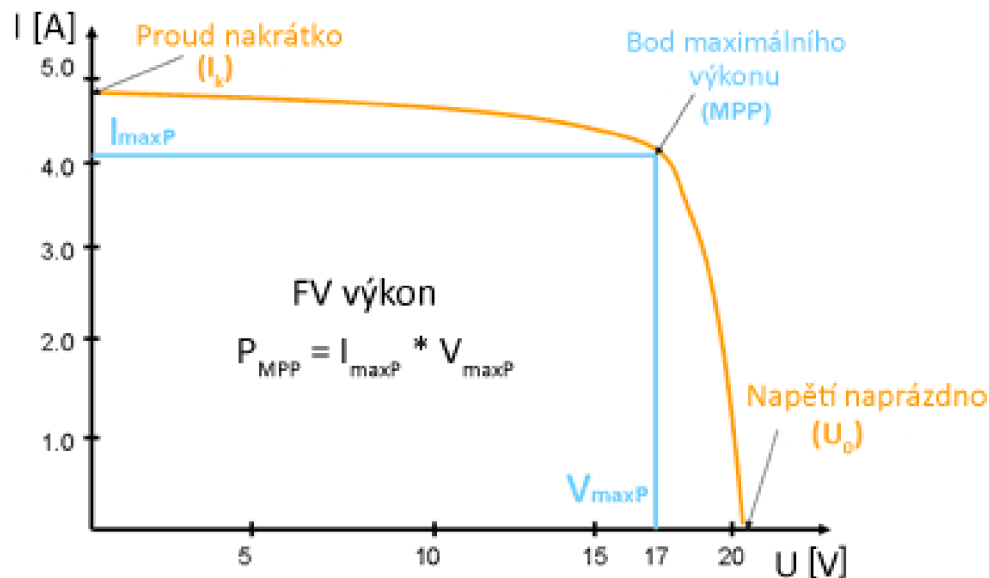
$$\eta = \frac{P_{MPP}}{A \cdot e} = \frac{P_{MPP} \cdot I_{MPP}}{A \cdot e} \quad (1)$$

U solárních panelů se za A dosadí plocha panelů. V katalogových listech je účinnost uvedena vždy při standardních zkušebních podmínkách (STC): $\eta_n = \eta_{STC}$. Z toho plyne jmenovitá účinnost solárních článků, příp. panelů [1]:

$$\eta_n = \frac{P_{MPP}(STC)}{A \cdot 1000 W/m^2} \quad (2)$$

Účinnost FV panelu je vždy menší než účinnost samostatného článku, protože přední sklo nepropouští světlo úplně a panely nelze osadit články v plné ploše [1].

FV panely nejlépe fungují při vysoké intenzitě záření, ale s nízkou teplotou. Maximální výkon panelů klesá s jejich rostoucí teplotou. Běžná hodnota teplotního koeficientu je okolo $0,47 \%/^{\circ}C$. Při změně teploty o $25^{\circ}C$ dojde ke změně výkonu až o 10% . Nižší výkon panelů lze zaznamenat při vysokých letních teplotách, kdy se panely ohřívají na vyšší teploty [37].



Obr. 2.9: Voltampérová charakteristika FV panelu, převzato z [13].

Z obrázku 2.9 je patrné, že FV panel dosahuje nejvyššího výkonu v bodě MPP, je dán součinem napětí a proudu. Proud nakrátko (I_k), je takový proud, který je panel schopný dodat pokud jej na výstupu zkratujeme, nicméně výkon panelu bude nulový. Napětí naprázdno (U_0), je takové napětí, které je panel schopný dodat pokud bude výstup rozpojen, nicméně výkon panelu bude opět nulový.

Životnost FV panelů se pohybuje v rozmezí 25 – 35 let, nejčastěji se udává průměrná hodnota, tzn. 30 let. V průběhu času ztrácí solární panel postupně na účinnosti, ale jedná se pouze o malou ztrátu (cca 0,3 % ročně), která nijak výrazně neovlivní výnosy z FVE. Obvykle je garantována účinnost 90 % po dvanácti letech provozu, 25 let starý solární panel by měl dosahovat účinnosti nad 80 % [12].

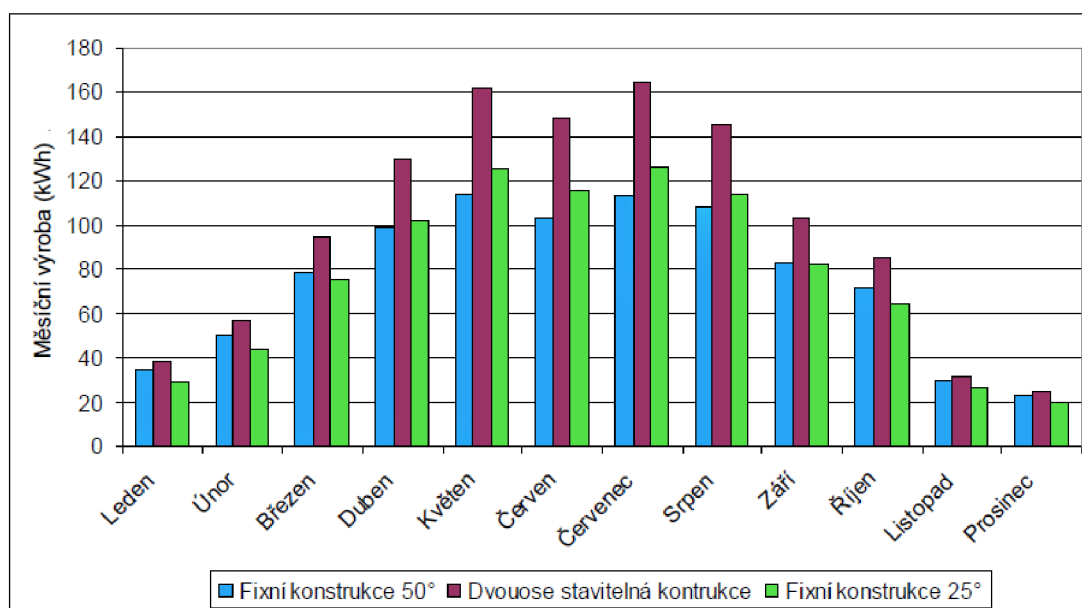
2.5.3 Údržba a nosné konstrukce

FV panely nepotřebují žádnou speciální údržbu čištěním a podobně – výjimkou je dočasná sněhová pokrývka, popřípadě jiné nečistoty. Z toho důvodu je potřeba provádět průběžnou kontrolu. Pokud panely pokryje vrstva sněhu, jejich výkon klesá na nulu. Tato situace je ale spíše výjimečná. Na šikmé střeše se totiž na kluzkém povrchu panelů sníh většinou neudrží. Teplota panelů navíc bývá vždy vyšší než venkovní teplota, a díky tomu sníh na FV panelech roztaje [14].

FV panely jsou uchycovány na nosné konstrukce, které jsou buďto fixní (statické) nebo otočné. V případě fixních konstrukcí se v podmínkách ČR doporučuje směřování

na jih a sklon $25^\circ - 35^\circ$ od horizontální roviny. Autonomní systémy využívané celoročně je vhodné instalovat s ještě větším sklonem pro zvětšení energetického zisku v zimních měsících.

FV systém o výkonu 1 kWp využívající panely dvouose natáčené za sluncem je schopný vyrobit v podmínkách ČR až 1200 kWh ročně, což je o cca 26 % více než v případě fixního systému (cca 950 kWh), (viz Obr. 2.10). Je však třeba brát v úvahu náklady spojené s otočnou konstrukcí (trekrem), jejich případnou poruchovost a požadavek na větší vzájemné odstupy kvůli stínění. Z těchto důvodů je většina instalací v ČR instalována na fixních konstrukcích [38].



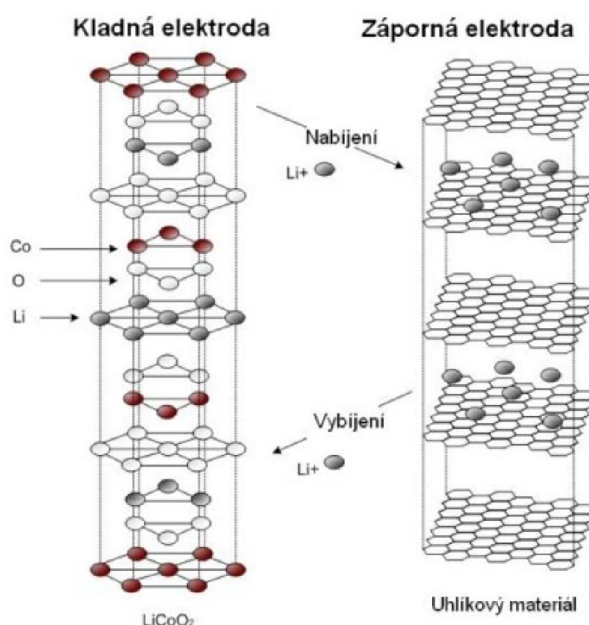
Obr. 2.10: Průměrná výroba FV systému 1kWp v podmínkách ČR, převzato z [38].

3 AKUMULÁTORY

FVE s ukládáním elektřiny do baterií výrazně snížení účet za elektřinu. Baterie se dobíjejí z FV panelů během dne, kdy je dostatek slunečního záření. Panely zároveň vyrábí energii pro okamžitou spotřebu. Pokud panely a baterie nestíhají, dobře se zbytek ze sítě. Z akumulátorů se energie čerpá především v noci, kdy Slunce na panely nesvítí. Pokud dojde k výpadku elektřiny, pak střídač automaticky přepne na záložní režim a energie se bere jen z baterií nebo z baterií v kombinaci s FV panely. Přepnutí na záložní režim je dostatečně rychlé, aby udrželo v běhu počítače a elektroniku [17].

3.1 Lithiové

Lithiové akumulátory jsou akumulátory s bezvodým elektrolytem, využívající pro kladnou elektrodu lithium-kobalt oxid (LiCoO_2), lithium-mangan oxid ($\text{Li}_x\text{Mn}_2\text{O}_4$), lithium-nikl dioxid (LiNiO_2) a další. Elektrolytem je nejčastěji lithium hexafluorofosfát (LiPF_6), v nepolárním organickém rozpouštědle. Záporná elektroda je vyrobena z uhlíkového materiálu [18]. Když se baterie nabíjí, posílá nabíječka do baterie větší proud o stejné polaritě, než je baterie schopná vyrobit sama, a tím se ionty lithia – nositelé elektrického náboje – vracejí zpátky na zápornou elektrodu (viz Obr. 3.1) [19].



Obr. 3.1: Princip funkce lithiových akumulátorů, převzato z [18].

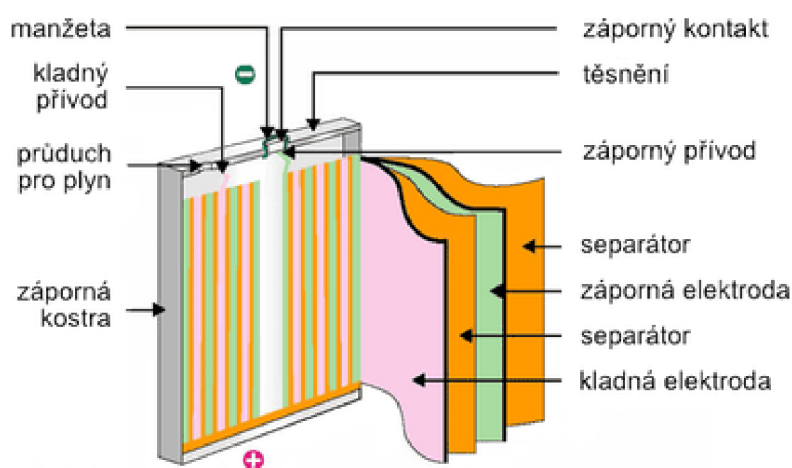
Zásadním rozdílem oproti jiným typům akumulátorů je, že ionty lithia pouze interkalují do struktury záporné elektrody (interkalovat – vmístit se do mřížky materiálu bez chemické reakce se samotným materiálem). To znamená, že v podstatě neprobíhá chemická reakce a je tak dosaženo velmi dlouhé životnosti bez velkých změn ve

výkonech akumulátoru. Dalším rozdílem je vyšší jmenovité napětí, energetická hustota je vyšší než u ostatních typů akumulátorů z velké části právě kvůli vyššímu napětí. Vybíjecí napěťová křivka je relativně plochá, což je výhodné, protože napájené zařízení má po dlouhou dobu téměř konstantní vstupní napětí, na druhou stranu je obtížnější zjistit stav nabití z napětí akumulátoru [18].

Nevýhodou je použití lithia a jeho sloučenin, které na vzduchu, a zejména při styku s vlhkostí reagují a degradují. Proto je třeba opatrné manipulace s akumulátory tak, aby nedošlo k narušení těsnosti jejich pláště. Novější typy akumulátorů používají relativně méně reaktivní materiály, nicméně i přesto existuje při porušení článku riziko požáru, zejména pak tehdy, když dojde k propíchnutí článku a zkratu jednotlivých vrstev. Vysoká energetická hustota se v akumulátoru velmi rychle přemění na teplo. Také prudké zahřátí v důsledku zkratu, může zapálit materiály v okolí akumulátoru. Další nevýhodou je, že po prvním nabití akumulátor postupně v čase ztrácí kapacitu, i když není používán. Materiály uvnitř článku postupně samovolně degradují, což je nevratný proces. Výkony těchto akumulátorů také klesají se snižující se teplotou [18].

3.1.1 Lithium – iontový (Li-Ion)

Prvním typem jsou Li-Ion články s kapalným elektrolytem, často ve formě válcových článků, kde jsou elektrody svinuty po obvodu článku. Nabíjecí napětí je 4,2 V, jmenovité 3,6 V. Plášť těchto akumulátorů je kovový, s tlakovou pojistkou pro případ přebíjení a úniku plynů. Akumulátory jsou proto relativně bezpečné a mechanicky odolné. Používají se často v bateriích notebooků nebo, v sérioparalelním řazení, i pro výkonově náročné aplikace. Energetická hustota se pohybuje mezi cca 150–200 Wh/kg [18].



Obr. 3.2: Struktura lithiového akumulátoru, převzato z [18].

3.1.2 Lithium – polymerové (Li-Pol)

Jsou velice rozšířené, elektrolyt není kapalný, ale je to polymerní sloučenina, která je iontově vodivá. Články jsou většinou v obalu z hliníkové fólie a mohou být i relativně pružné. Nicméně při mechanické deformaci může dojít ke zkratům a poškození

struktury článku, proto se články nesmí ohýbat a je třeba jejich poškození zabránit. Elektrody článku jsou pokládány na sebe a mohou mít nejrůznější tvar. Toho se využívá například v noteboocích či tabletech, kde se nepravidelně tvarovanými akumulátory „vyplňuje prostor“. Energetická hustota je mírně vyšší než u článků s kovovým obalem, právě kvůli uspořené hmotnosti. Jmenovité napětí je 3,6–3,7 V, nabíjecí 4,2 V [18].

3.1.3 Lithium – železo – fosfát

Články jsou označovány jako LiFe, LiFePO₄ nebo LiFeYPO₄ pokud je do materiálu kladné elektrody přidáno yttrium pro zlepšení vodivosti a zvýšení stability. Nabíjecí napětí je 3,6 V, jmenovité 3,2 V. Jejich energetická hustota je proto nižší, cca 90–120 Wh/kg. Výhodou proti předchozím typům je vyšší proudová zatížitelnost vzhledem ke kapacitě a jistá odolnost proti hlubokému vybití (materiál kladné elektrody je potažen velmi tenkým filmem z materiálu propustného pro ionty, který chrání katodu před degradací). Nicméně ani zde není hluboké vybíjení povoleno a dochází k významnému zkrácení životnosti a poklesu výkonu článků. Tyto akumulátory se s výhodou používají jako přímá náhrada olověných akumulátorů, protože čtyřčlávková sada má při provozu velice podobné napětí jako 12V olověný akumulátor [18].

3.1.4 Lithium – titan (LTO)

Katoda je stejná jako u Li-Ion/Li-Pol akumulátorů. Materiál LTO má velkou měrnou plochu vzhledem k hmotnosti, takže je možné rychlé nabíjení a vybíjení. Další výhodou je možný provoz za nízkých teplot a velmi dlouhá cyklická životnost (tisíce cyklů). Naopak nevýhodou je nižší jmenovité napětí – 2,4 V. Energetická hustota je tak zatím nižší než u předchozích typů, výzkum se zaměřuje na její zvýšení [18].

3.2 Olověné

Elektrický proud, vzniká v člancích akumulátoru při chemických reakcích aktivních hmot. Při uzavření vnějšího elektrického obvodu reagují aktivní hmoty přeměnou na síran olovnatý a uvolňují elektrony. Při odběru proudu z akumulátoru, reaguje jedna molekula olova (na záporné elektrodě), jedna molekula oxidu olovičitého (na kladné elektrodě) a dvě molekuly kyseliny sírové (elektrolyt) tak, že vzniknou dvě molekuly síranu olovnatého a dvě molekuly vody a uvolní se dva elektrony. Množství aktivních hmot v akumulátoru určuje, kolik proudu je akumulátor vůbec schopen dodat, tj. jakou má kapacitu. Protože se při odběru proudu vážou síranové ionty elektrolytu do vznikajícího síranu olovnatého a uvolňuje se voda, klesá množství kyseliny sírové a roste množství vody v elektrolytu. Hustota elektrolytu se proto snižuje a zároveň je hustota elektrolytu velmi dobrým ukazatelem stupně vybití [20].

Při nabíjení akumulátoru se průběh chemických reakcí obrátí, síran olovnatý přijímá dodávané elektrony a přeměňuje se zpět na původní aktivní hmoty. V důsledku toho se síranové ionty uvolňují zpět do elektrolytu a jeho hustota roste [20].

Proces vybíjení a nabíjení neprobíhá bezztrátově, takže pro nabití do původního stupně je třeba dodat asi o 15 až 20 % více elektronů, než bylo odebráno. Do chemických reakcí vstupují především povrchové vrstvy aktivních hmot na deskách článků. Vnitřní vrstvy nemají tak dobrý kontakt s elektrolytem, proto reagují zpomaleně a v menší míře. Tím jsou povrchové vrstvy více namáhány a rychleji se poškozují [20].

Síran olovnatý je krystalická látka. Při vybíjení vzniká síran olovnatý ve velmi jemné krystalické formě, téměř amorfni, velmi rychle se však uspořádává do krystalů větších. Při dobíjení se však větší krystaly přeměňují na původní látky obtížněji. Nenasleduje-li tedy dobíjení ihned po vybití, zvětšují se krystaly síranu tak, že se zpětně již zcela nepřemění. To se v dalších cyklech stupňuje. Vznik velkých, již zpětně nerozložitelných krystalů je označován jako sulfatace a je nejčastější příčinou zkázy olovených startovacích akumulátorů. V postupně rostoucích krystalech je vázáno stále více aktivních hmot, snižuje se tedy potenciální maximální kapacita akumulátoru. Síran olovnatý má vyšší elektrický odpor. S jeho přibývajícím množstvím se zvyšuje vnitřní odpor článků, proto se snižuje jejich schopnost poskytnout rychle velký proud [20].

Krystaly síranu olovnatého mají poněkud větší objem než původní aktivní hmota. To vyvolává mechanický tlak v povrchových vrstvách, které postupně praskají a odlamují se z nich částičky hmoty. U starších konstrukcí akumulátorů tyto částice postupně propadávají ke dnu článkových komor, kde tvoří postupně narůstající vrstvu kalu. V krajním případě může tato vrstva zcela zaplnit odkalovací prostor a zkratovat desky. U modernějších konstrukcí akumulátorů jsou kladné desky článků vsunuty do uzavřené obálky, která plní funkci separátoru a zadržuje uvolněné částice na jejich místě. Proto není nutný odkalovací prostor a do stejně velké akumulátorové nádoby lze umístit větší celkovou plochu desek a získat větší kapacitu akumulátoru [20].

3.2.1 Klasické akumulátory se zaplavenými deskami a odvětrávacími zátkami

Vyrábějí se již pouze v provedení s obálkovými separátory a nádobami bez odkalovacích prostorů. Vyžadují kontrolu množství elektrolytu a doplňování destilované vody. Umožňují snadnou kontrolu stupně nabití měřením hustoty elektrolytu, která má být u plně nabitého článku 1,28 až 1,285 g.cm⁻³, při teplotě elektrolytu 25 °C. Hustota 1,14 g.cm⁻³ signalizuje úplné vybití [20].

3.2.2 Klasické akumulátory se zaplavenými deskami, hermeticky uzavřené

Označují se jako MF akumulátory (z angličtiny Maintenance Free = bezúdržbové). To je však pouze označení, i tyto akumulátory vyžadují údržbu, zejména kontrolu a dle potřeby dobíjení.

Akumulátory jsou v provedení s obálkovými separátory a nádobami bez

odkalovacích prostorů. Nádoba akumulátoru je plastová, zpravidla průsvitná. Víko nádoby je svařeno s nádobou, akumulátor bývá hermeticky uzavřený, bez odvětrávacích zátek. Akumulátory mohou být opatřeny bezpečnostními pojistkami (ventily) pro případ nadměrného zvýšení vnitřního tlaku [20].

3.2.3 AGM VRLA akumulátory

Jsou moderní akumulátory, které mají veškerý elektrolyt zasáknutý do mikroporézní skelné tkaniny (z angličtiny Absorbed Glass Mat). Jsou hermeticky uzavřené, bez odvětrávacích otvorů a zátek. Pokud na akumulátoru tohoto typu zátky jsou, slouží jen k prvotnímu naplnění elektrolytem před uvedením do provozu, poté se nikdy neotevírají. Oproti akumulátorům se zaplavenými deskami mají AGM akumulátory vyšší účinnost, dodávají vyšší proud při nižších teplotách a tím ulehčují zimní starty. Jsou dražší než klasické akumulátory. Dle údajů výrobců jsou AGM akumulátory vhodné pro extrémně vysoké energetické nároky a mají delší životnost než akumulátory klasické [20].

AGM akumulátory jsou většinou provedeny zároveň jako VRLA akumulátory (z angličtiny Valve Regulated Lead Acid batteries = ventilem řízené akumulátory). VRLA akumulátory jsou opatřeny ventily, které slouží k regulaci tlaku uvnitř článků akumulátoru a zároveň působí jako bezpečnostní přetlakové ventily. Vnitřní tlak se zvyšuje při zpětné rekombinaci kyslíku a vodíku přímo v člancích [20].

Protože AGM akumulátory nemají žádný volně tekoucí elektrolyt, mohou být umístěny v jakékoliv poloze, ale mají zvýšené nároky na správné nabíjení. Napětí na jeden článek v závěru nabíjení nesmí překročit 2,3 V, tj. musí být s dostatečnou rezervou pod hodnotou tzv. plynovacího napětí (hranice plynovacího napětí je 2,4 V na článek). Překročení této hranice způsobí silný vývin plynů a růst teploty, může dojít k tzv. teplotnímu zkratu, při kterém může akumulátor explodovat. To prakticky znamená, že AGM akumulátory je nutno nabíjet pouze elektronicky řízenými nabíječkami [20].

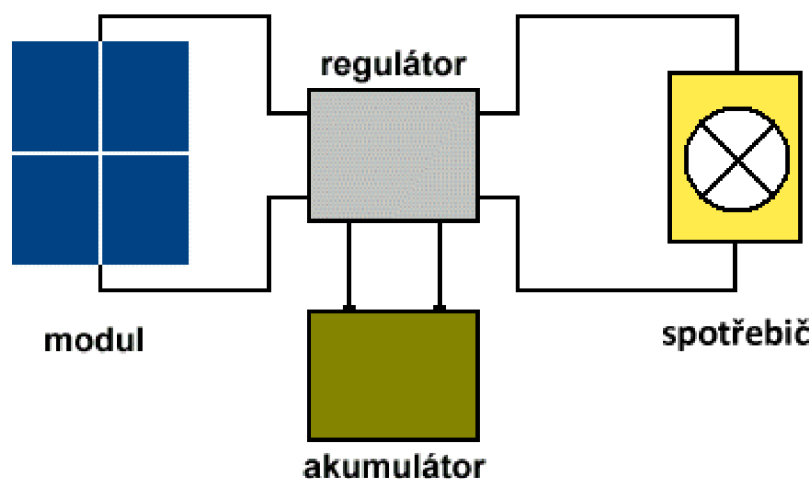
3.2.4 Gelové VRLA akumulátory

Mají obdobné vlastnosti a parametry jako akumulátory AGM. Jsou rovněž vybaveny technologií VRLA. Konstrukčně jsou podobné akumulátorům se zaplavenými elektrodami, ale elektrolyt je v něm obsažen v tixotropním křemičitém gelu. Nehrozí tedy vylití elektrolytu a zároveň jsou ze všech olověných akumulátorů nejodolnější proti otřesům a změnám polohy. Proto jsou doporučovány pro zemědělské a stavební stroje, vojenskou techniku, terénní vozidla, atd. Jsou méně citlivé na vyšší provozní teplotu, ostatní provozní vlastnosti i použití jsou obdobné jako u AGM akumulátorů. Dle údajů výrobců jsou vhodné pro extrémně vysoké energetické nároky, mají delší životnost než akumulátory klasické a lépe než akumulátory AGM snášejí hlubší vybíjení [20].

4 FV SYSTÉMY

4.1 Autonomní FV systém

Jedná se o zdroj nezávislý na rozvodné síti, bývá označován jako "Off-grid". Systém se skládá z FV modulů nebo polí, regulátoru, akumulátoru a spotřebiče (viz Obr. 4.1). Elektrická energie se z modulů uchovává v nabitých akumulátorech pro období, kdy Slunce nesvítlí. Regulátor zajišťuje správné podmínky pro nabíjení a vybíjení akumulátoru. Tento systém se používá k napájení pokusných solárních vozidel, zahradních svítidel, elektrických spotřebičů v horských chatách, k napájení měřicích přístrojů v meteorologických stanicích apod. [3].



Obr. 4.1: Schéma autonomního FV systému, převzato z [3].

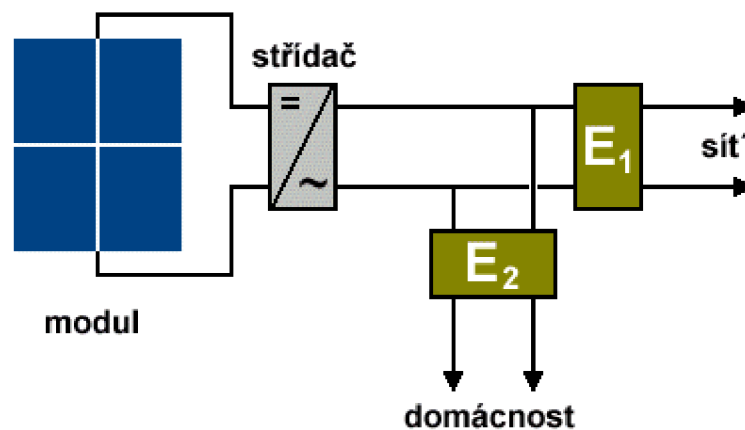
Solární regulátor je "mozkem" každého solárního systému, je zapojen mezi solárním panelem a akumulátorem a jeho úkolem je vytěžit maximum energie ze solárního panelu. Regulátor nabíjení chrání baterii před nadměrným nabitím solárními články a před hlubokým vybitím a je navíc vybaven mnoha nepostradatelnými bezpečnostními funkcemi [21].

PWM (Pulse Width Modulation) - nejrozšířenější solární regulátory, u kterých musí být pro 12V baterii solární panel složen z 36 článků a pro 24V baterii panel ze 72 článků. Jiná kombinace je nepřijatelná. Vhodný je tedy pouze pro panely 30 – 150Wp [21].

MPPT (Maximum Power Point Tracker) - jsou moderní solární regulátory, které oproti PWM dosahují o cca 30% většího výnosu ze solárního panelu. Regulátor pracuje jako měnič, to znamená, že vyšší vstupní napětí a nižší proud dokáže zpracovat na nižší napětí/ zvýší proud a to s vysokou účinností. Můžeme tedy použít jakýkoliv solární panel. Zde můžeme i propojovat panely do série [21].

4.2 FV systém spojený se sítí

Velké FV systémy mohou být zapojeny tak, aby část nebo všechnu vyrobenou elektrickou energii dodávaly do veřejné rozvodné sítě. Označují se také jako systémy "On-grid". Zdrojem je FV modul, stejnosměrné napětí je nejprve nutné ve střídači transformovat na střídavé napětí 230 V/50 Hz (viz Obr. 4.2). Zařízení musí splňovat přísné požadavky na bezpečnost, odolnost proti zkratu, přetížení a na správnou synchronizaci. Výhodou tohoto systému je, že spotřebiče v domácnosti mohou fungovat nezávisle na vnějším osvětlení. Při dostatku slunečního záření jsou napájeny z FV modulu, v noci odebírají energii z rozvodné sítě. Elektroměry E1 a E2 měří energii odevzdanou nebo odebranou z rozvodné sítě [3].



Obr. 4.2: Schéma FV systému spojeného se sítí, převzato z [3].

Střídač neboli Invertor

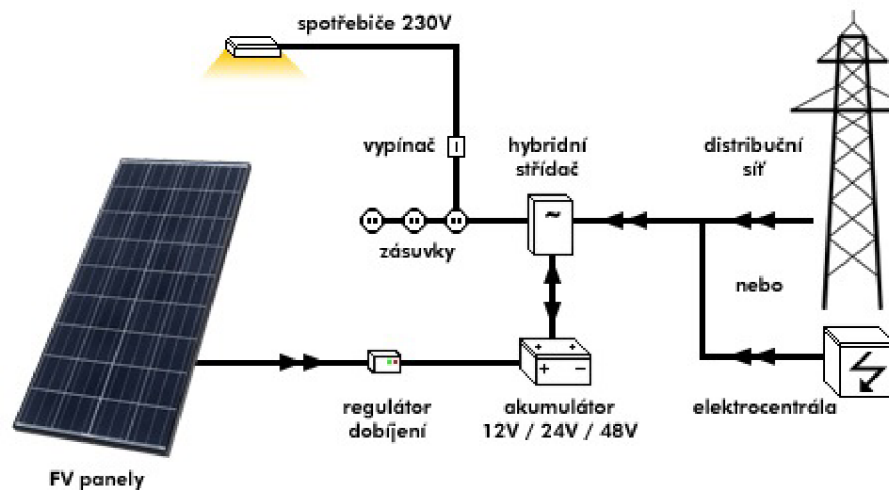
Jelikož výstupem FV panelu je stejnosměrný proud, je nutné jej převést na proud střídavý, o parametrech elektrické sítě (230/400V 50Hz). Tuto přeměnu zajišťuje střídač. U malých elektráren kromě funkce přeměny proudu a napětí, také zajišťuje funkci ochrannou, kdy monitoruje napětí a frekvenci sítě a v případě výpadku, nebo nedodržení kvalitativních požadavků na vyrobenou elektřinu elektrárnu od sítě odpojí. Každý kvalitní střídač obsahuje jeden nebo více MPPT (maximal power point trackers), což je funkce aktivního hledání optimálního pracovního bodu změnou vstupního odporu střídače a tím získání nejlepšího výkonu FV panelu při daném ozáření. Čím lepší a propracovanější je algoritmus MPPT, tím vyšší bude výnos z FV systému. Maximální účinnost dnešních střídačů se pohybuje kolem 96 %. Lepší účinnosti dosahují beztransformátorové střídače, které jsou vhodné zejména pro nízkonapěťové systémy složené z tenkovrstvých modulů. Střídače osazené transformátorem sice dosahují nižší účinnosti, ale dosahují kvalitnějšího výstupu [12].

4.3 Hybridní FVE

Hybridní fotovoltaická elektrárna (HFVE) je variantou běžné ostrovní elektrárny, která obvykle dodává elektřinu v místech, kde není k dispozici přípojka k elektrické distribuční síti. Ostrovní solární elektrárna většinou obsahuje FV panely jako zdroj energie, střídač a také akumulátor. Ten je velmi důležitý, protože vyrovnává rozdíly mezi výrobou elektřiny ze slunce (přes den) a spotřebou (obvykle večer).

Na rozdíl od běžné ostrovní elektrárny je dům s HFVE k elektrické distribuční síti připojen. Samotná elektrárna je od této sítě galvanicky oddělena, a systém tak nevydělává výrobou elektřiny, protože veškerá vyrobená elektřina se musí spotřebovat přímo na místě. Tyto vlastnosti HFVE se dají považovat za velmi výhodné, protože majitel nepotřebuje získávat různá povolení od Energetického regulačního úřadu. Elektřina z distribuční sítě pak slouží jako záloha pro případ, kdy fotovoltaika není schopna energii dodávat, protože jsou akumulátory vybité.

V praxi vypadá provoz HFVE tak, že když svítí slunce, elektrárna dodává elektřinu do objektu a zároveň nabíjí akumulátory. Z nich lze energii čerpat i v době, kdy slunce nesvítí. Pokud však ani akumulátory nestačí, hybridní střídač přepne na odběr elektřiny z distribuční sítě. Správně navržená HFVE dokáže uspokojit energetické potřeby rodinného domu z 90 – 100 % [42].



Obr. 4.3: Hybridní fotovoltaický systém, převzato z [43].

5 SOLÁRNÍ ENERGIE V ČESKÉ REPUBLICE

5.1 Výhody

Úspory za energie – Využívání solární energie sníží účet za elektřinu, teplo a ohřev vody. Vstupní investice, se postupně vrací poklesem výdajů za elektrickou energii [22].

Pojistka proti budoucímu zdražení - Náklady na výrobu energie z jaderných nebo jiných fosilních zdrojů elektřiny neustále stoupají. V budoucnosti dojde pravděpodobně ke zdražení elektřiny z tradičních zdrojů, ale cena solární energie bude pravděpodobně dále klesat. Výroba vlastní energie bude sloužit jako pojistka proti zdražení energii [22].

Rychlá návratnost investice - Díky dotačním programům (Nová zelená úsporám) lze na pořízení FVE získat příznivou státní dotaci do roku 2021. Díky této podpoře má investice do nové FVE poměrně výhodnou návratnost v horizontu cca 5-10 let [22].

Energetická soběstačnost - Solární energie poskytuje domácnostem částečnou energetickou soběstačnost. Kvalitně postavená FVE v kombinaci s bateriovým systémem pokryje spotřebu elektřiny v domácnosti z cca 80 % [22].

Ochrana proti výpadku dodávek elektřiny – FVE schopna akumulovat energii zajistí kvalitní záložní zdroj energie. Není potřeba se obávat výpadku elektřiny ze sítě [22].

Snadná a rychlá instalace bez licence či živnostenského listu - FVE nepředstavuje výrazný zásah do stavby domu. Instalace probíhá obvykle na střeše nebo v plášti budovy. Malou FVE lze pro vlastní spotřebu provozovat bez licence na výrobu energie od Energetického regulačního úřadu a není potřeba mít ani živnostenské oprávnění [22].

Bezpečnost, vysoká spolehlivost a nízké náklady na údržbu - Kvalitně postavená FVE může sloužit 20 i více let. FV jako zdroj elektřiny neobsahuje žádné pohyblivé součásti, jedná se o technologii s nízkou poruchovostí. Obsluha panelů je nenáročná, po instalaci prakticky není, kromě pravidelných servisních prohlídek, třeba se o ně starat. Online monitoringem lze elektrárnu sledovat na mobilu či počítači [22].

Ekologické řešení - FV je řešení ohleduplné k životnímu prostředí. Solární panely kromě slunečního svitu nevyžadují žádné palivo, které by znečišťovalo ovzduší či jinak zatěžovalo přírodu. Recyklace solárních panelů a dalších komponentů FVE je dobře technicky zvládnutelná bez vedlejších efektů. Drtivá většina solární se vyrábí z křemíků, což je prvek, který je běžně a velkým množstvím k dispozici na Zemi [22].

Nevyčerpatelný zdroj energie - Solární energie patří mezi nevyčerpatelné energetické zdroje. Při přeměně slunečního světla na energii by za hodinu bylo vyrobeno více elektrické energie, než kolik jí celé lidstvo spotřebuje za rok. Množství využitelné energie závisí na klimatických podmínkách. Lze ji dobře využívat nejen v oblastech s dlouhým slunečním svitem, ale i s vyšší nadmořskou výškou [22].

5.2 Dotace

5.2.1 Nová Zelená úsporám

Nová Zelená úsporám je dotační program Ministerstva životního prostředí pro pořízení tepelného čerpadla, solárního systému a FV.

Výše dotace – jednorázová fixní částka [23]:

- 35 000 nebo 50 000 Kč na termické solární systémy,
- 35 000 – 150 000 Kč na FV solární systémy,
- 75 000 nebo 100 000 Kč na instalaci systémů řízeného větrání se zpětným získáváním tepla
- 25 000 – 100 000 Kč na výměnu neekologického zdroje tepla,

Lze získat až 50 % celkových způsobilých výdajů, nejvýše 350 000 Kč.

Tabulka 5.1: Podporované typy solárních systémů, převzato z [23].

Typ systému	Výše podpory [Kč]
Solární termický systém na přípravu teplé vody	35 000
Solární termický systém na přípravu teplé vody a přitápění	50 000
FV systém pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem	35 000
FV systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem $\geq 1\,700$ kWh.rok-1	55 000
FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 1\,700$ kWh.rok-1	70 000
FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 3\,000$ kWh.rok-1	100 000
FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 4\,000$ kWh.rok-1	150 000
FV systém efektivně spolupracující se systémem vytápění a přípravy teplé vody s tepelným čerpadlem	150 000

Program dále podporuje [23]:

- Rozšíření stávajícího solárního systému, pokud dojde ke zvýšení využitelného zisku o 20 %, nebo se zvýší využití vyrobené elektřiny v místě spotřeby o 10 %.
- Využití materiálů s vydaným environmentálním prohlášením.

O dotaci mohou požádat vlastníci nebo stavebníci rodinných domů, jak fyzické tak

právnícké osoby. Žádost se podává výhradně elektronicky pomocí online formulářů. Žádat lze před zahájením, v průběhu nebo po dokončení prací. Ukončení příjmu žádosti je vyčerpáním stanovené alokace nebo nejpozději do 31. Prosince 2021 [23].

5.3 Zákony a předpisy

5.3.1 Legislativa upravující provozování FVE

Hlavním předpisem, dle kterého se řídí povolování staveb je **Zákon č. 183/2006 Sb.**, o územním plánování a stavebním řádu, tj. stavební zákon. Stavby před svojí realizací mohou procházet dvěma povoloovacími řízeními – územním řízením a stavebním řízením. Veškeré záležitosti stavebního práva jsou řešeny s místně příslušným stavebním úřadem nebo stavebním odborem na magistrátech větších měst [25].

Stavební úpravy, kdy takovou stavební úpravou je i instalace solárních panelů, nejsou vyžadovány ohlášení ani stavební povolení za splnění těchto zákonných podmínek [26]:

- nedochází-li k zasahování do nosných konstrukcí stavby
- nemění-li se vzhled ani způsob užívání stavby (problematické – pokud solární panely převyšují budovu, bude pravděpodobně třeba zahájit stavební řízení)
- nevyžaduje-li se posouzení vlivů na životní prostředí a provedení nemůže negativně ovlivnit požární bezpečnost stavby

Zákon č. 458/2000 Sb., říká, že provozovatelé výroben elektřiny do výkonu 10 kWp nemusí žádat na provoz svého zařízení o licenci od Energetického regulačního úřadu. Solární elektrárna na střeše rodinného domu není podle novely zákona podnikáním, pokud je vyrobená elektřina primárně určená pro vlastní spotřebu jejího vlastníka a pokud výkon FVE nepřesahuje 10 kWp. U FVE do 10 kWp bylo navíc zrušeno ochranné pásmo. Majitelé rodinných domů s FV tedy již neomezují práva svých sousedů [35].

5.3.2 Daňová legislativa

Provozování FVE je podnikáním podle zvláštního předpisu, jímž je Energetický zákon **č. 91/2005 sb.**. Pro tuto činnost je nutné vlastnit „licenci pro podnikání v energetických odvětvích“, která opravňuje podnikání v tomto oboru a nahrazuje živnostenský list. Licence je vydávána Energetickým regulačním úřadem, jehož prostřednictvím je přiděleno Identifikační číslo organizace (IČO) [24].

Provozování sluneční elektrárny generuje příjmy z podnikání a jiné samostatně výdělečné činnosti (§7 ZDP) a tyto jsou předmětem daně z příjmu, tudíž je třeba každý rok ve stanovené lhůtě podat daňové přiznání a zaplatit vypočtenou daň [24].

Daň z přidané hodnoty

U FV instalací na rodinných domech, bytových domech, panelových domech a podobně platí § 48 zákona o dani z přidané hodnoty. Platí zde tedy snížená 14 % sazba DPH a to jak na montážní práce, tak na samotné technické prostředky FV elektrárny. Kromě daňového přiznání musí poplatník podat přehled příjmů Okresní správě sociálního zabezpečení a na svoji zdravotní pojišťovnu [24].

5.3.3 Zdravotní pojištění

U zdravotního pojištění se rozlišuje, zda provozování FVE je pro OSVČ příjmem hlavním nebo vedlejším. U OSVČ s hlavním příjmem z FV elektrárny se zdravotní pojištění platí v minimální výši 2208 Kč (2019), a to formou měsíčních záloh splatných vždy mezi 1. a 20. dnem následujícího kalendářního měsíce. Skutečná výše pojistného se vypočítá podle vzorce: roční pojistné = (příjmy - výdaje) * 0,5 * 0,135 [24].

- FVE jako hlavní zdroj příjmu - Provozovatel, který má FVE jako hlavní zdroj příjmu pak platí buďto minimální pojistné, případně pojistné vypočítané podle vzorce výše, podle toho, která částka je vyšší. Měsíční zálohy pojistného se pak stanoví jako 1/12 ročního pojistného.
- FVE jako vedlejší zdroj příjmu - U provozovatelů, kteří mají FVE jako vedlejší zdroj příjmů se platí pouze pojistné podle výše uvedeného vzorce, minimální pojistné se na tyto provozovatele nevztahuje. Nemusí se platit zálohy, vše se platí až po skončení roku na základě přehledu

5.3.4 Sociální pojištění

Stejně jako u zdravotního pojištění, i zde se rozlišuje, zda je sluneční elektrárna pro jejího provozovatele příjmem hlavním nebo příjmem vedlejším. U OSVČ s hlavním příjmem z FVE se sociální pojištění platí v minimální výši 2388 Kč (2019) měsíčně, a to formou měsíčních záloh splatných vždy mezi 1. a 8. dnem následujícího kalendářního měsíce. Skutečná výše pojistného se vypočítá podle vzorce: roční pojistné = (příjmy - výdaje) * 0,5 * 0,292 [24].

- FVE jako hlavní zdroj příjmu - Provozovatel, který má FVE jako hlavní zdroj příjmu pak platí buďto minimální pojistné, případně pojistné vypočítané podle vzorce výše, podle toho, která částka je vyšší. Měsíční zálohy pojistného se pak stanoví jako 1/12 ročního pojistného.
- FVE jako vedlejší zdroj příjmu - U provozovatelů, kteří mají FVE jako vedlejší zdroj příjmů se platí pouze pojistné podle výše uvedeného vzorce, a to pouze tehdy, pokud v daném roce podnikatelův základ daně (příjmy - výdaje) dosáhl alespoň částku 78 476 Kč (2019). Jinak se sociální pojistné platit nemusí.

6 POČÍTAČOVÉ PROGRAMY PRO NÁVRH FV ELEKTRÁRNY

Pro optimální výnos z FV zařízení umístěného na střešní ploše je potřeba toto zařízení profesionálně vyprojektovat a technicky zrealizovat. Je nutné zohlednit mnoho faktorů, od intenzity slunečního záření v dané lokalitě, přes orientaci střechy vůči jihu, sklon a případné zastínění střechy. Tyto faktory mají nepřímý vliv na výtěžnost FV zařízení na střeše. Dále je ale potřeba také počítat se statikou střechy pro umístění nosného systému solárních panelů. Zde hraje roli kromě vlastní nosnosti samotné střechy také síla větru a zatížení sněhem v dané oblasti. Jak je patrné, provádět tyto výpočty a zohlednit všechna výše uvedená kritéria je značně obtížné a zdlouhavé. Proto bylo pro projektování FV systémů vyvinuto velké množství výpočetních programů [27].

6.1 PV manager

Program vyvíjí společnost IBC SOLAR, lze jej pořídit i v české jazykové verzi, cena licence pro jeden počítač na 12 měsíců je 249 €. Umožňuje plánování montáže snadno, rychle a s ohledem na vybranou lokalitu. Počítá automaticky ideální řešení a vybere všechny komponenty potřebné pro FV systém. S pomocí PV Manageru je možno vybrat upínací systémy, nejvhodnější střídače, spojení s panely a kabeláž [27], [28].

Program vypočítá nejen odhadované energetické výnosy, ale např. i odhadované ztráty v kabelech, optimální řešení u střech, které nemají ideální polohu vzhledem ke slunci, rozlišuje i lokality s možností většího a delšího výskytu sněhu. Samozřejmostí je také možnost navržený projekt vytisknout, připravit technickou a finanční rozvahu [27].

PV Manager umožňuje v bodech následující [27]:

- snadné plánování a rychlou kalkulaci upínacích systémů pro sedlové, pultové, ploché a hřebenové střechy i pro volné plochy,
- možnost zadání několika střešních ploch v rámci jednoho projektu, včetně kontroly statiky;
- grafické znázornění a projektování panelových polí pomocí nákresu střechy,
- automatické zapojení střídačů podle stanovených hranic dimenzování s ohledem na lokalitu,
- přesný výpočet skutečných ztrát v kabelech
- prognózu energetických výnosů, díky uloženým údajům o počasí
- zpracování kusovníku materiálu pro konkrétní montáž FV zařízení,
- přehledné zobrazení veškerých údajů o FV zařízení
- řadu integrovaných doplňkových programů: plán připojení střídavé strany do sítě hospodárnosti, solární výnosy, ztráty výkonu, dimenzování střídačů, aj,
- vše přizpůsobeno pro české podmínky a dostupné v českém jazyce

6.2 Sinvert Select

Program vyvíjí společnost Siemens, je zcela zdarma. Umožňuje projektantovi předem určit rentabilitu FVE se jmenovitým výkonem od 10 kW až do několika megawatt. Propočítání jednotlivých konfigurací umožňuje porovnat výtěžek energie z elektráren v závislosti na jejich uspořádání [29].

Program Sinvert Select je určen k dimenzování, posuzování a optimalizaci sestav střídačů pro FVE. Na základě vstupních údajů automaticky vybere optimální sestavu střídačů z nabídky společnosti Siemens. Zadávanými údaji jsou nejen charakteristika stanoviště, frekvence sítě, typ a jmenovitý výkon FV panelu, ale také způsob montáže FV panelů definovaný jejich sklonem a azimutem. Program vypočítá pro každou variantu tzv. poměrnou výkonnost (tj. poměr mezi plánovanou a použitelnou produkcí) a potenciální množství energie vyrobené za rok. Podle těchto ukazatelů lze jednotlivé konfigurace následně porovnávat, posuzovat a dále optimalizovat. Projektant může měnit hodnoty jednotlivých parametrů elektrárny (např. počet střídačů, počet stringů, počet panelů zapojených do stringu nebo také teploty FV panelů a ztráty v propojovacích vodičích) a okamžitě sledovat i hodnotit vliv těchto změn [29].

Program bere v úvahu celkové ztráty zapříčiněné nárůstem teploty panelu při vysokých intenzitách slunečního záření i poklesem produkce energie při nízkých úrovních záření či vlivem zašpiněných panelů. Při výpočtech se vychází z rozsáhlé databáze obsahující údaje o více než 300 stanovištích v celkem 26 zemích, o všech 4200 běžně používaných typech FV panelů z celého světa a o střídačích řady Sinvert [29].

6.3 Polysun

Program vyvíjí společnost Vela Solaris, v nabídce jsou různé balíčky, které stojí tisíce euro. Pro FV je nabízený program Polysun PV na 12 měsíců za cenu 949 €. Produkty Polysun obsahují všechny důležité nástroje pro konfigurování, optimalizování a modelování zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie. Jedná se o solární teplo, tepelné čerpadla, FV či chlazení [36], [31].

Projektování zařízení v programu Polysun vyniká nevídanou flexibilitou a nejvyšší možnou kvalitou dimenzování včetně výpočtů zisku a hospodárnosti [31].

Přednosti programu [31]:

- úspora času a profesionalizace projektování
- spolehlivá předpověď zisku na základě meteorologických údajů z lokalit celého světa, možnost vkládat nová stanoviště definovaná uživatelem
- velmi snadná optimalizace již existujících i nových zařízení
- možnost exportu všech potřebných informací pro žádost o dotaci
- snadné generování zpráv s vysokou výpovědní hodnotou ve formátu PDF

6.3.1 Polysun Photovoltaic Simulation

Program slouží k modelování FV zařízení. Má rozsáhlou databázi katalogů s mnoha značkovými FV moduly a střídači. Lze dimenzovat a obměňovat FV zařízení, např. plochu a orientaci modulu, dle libosti. Polysun podporuje výběr střídačů u zadaných FV polí. Program také navíc poskytuje podkladové údaje pro žádost o dotaci [31].

6.4 PV*SOL premium

Program vyvíjí společnost Valentin Software GmbH se sídlem v Berlíně, licence pro jednoho uživatele stojí 1295 € s 6 měsíční údržbou [32]. Nový verze navazuje na úspěšnou předchozí verzi PV*SOL Expert, umožňuje uživatelům detailnější návrh a vizualizaci FVE. Má zabudovanou analýzu stínění FV panelů ve 3D módu. Na základě toho pak vyhodnocuje snížení výnosu. Nově vyhodnocuje přesněji podíl lokální spotřeby a navíc umožňuje zobrazit rovněž energii uloženou v akumulátorech. Program umožňuje načíst profil spotřeby v hodinovém, čtvrt hodinovém nebo minutovém formátu. Při samotném návrhu je možno kombinovat libovolný počet FV polí, přičemž je možno je kombinovat s libovolnými střídači [33]. Příklady výstupů z programu viz (Obr. 6.1), (Obr. 6.2), (Obr. 6.3), (Obr. 6.4), (Obr. 6.5).

Funkce programu [34]:

- 3D animace stínů
- Zastínění modulů od mnoha typů ploch a objektů s milimetrovou přesností
- Možnost změny vzhledu modulů, článků nebo i barvy rámu
- 3D obrázky ve výstupu pro zákazníka
- Vytvoření 3D budov a objektů založených na importu mapových podkladů a výkresů
- Kopírování 3D budov se všemi funkcemi a nastavením střídačů
- Tvorba 3D pravidelných i nepravidelných objektů
- Import 3D souborů
- Dělení stringů a tvorba vícestringového zapojení
- Automatická i nastavitelná funkce ukládání rozdělané práce
- Vizualizace struktury střechy se zobrazením krokví a latí
- 3D vizualizace s exportem rozměrů do mnoha CAD programů
- Výběr zastínění a funkce objektů, jako jsou ploché nebo trubkové termální kolektory, komíny, ventilace, fasádní okna nebo dveře.
- Upravitelné textury použitelné na povrch budov včetně vašich obrázků, či fotografií

Pohled na střešní objekty: Široká variace přizpůsobení 3D objektů umístitelných na střechu pro predikci zastínění a plánování umístění modulů.

Tvorba budov pravidelných i nepravidelných tvarů: Stejně tak jednoduché, jako vytvoření pravidelné budovy, je vytvoření budovy nepravidelného tvaru včetně textury fasády, střechy a okolního terénu, vše ve 3D.

3D konfigurace: Jednoduchá a flexibilní změna konfigurace umístění a zapojení modulů funkcí klikni a posuň nebo využitím nástrojů z nabídky.

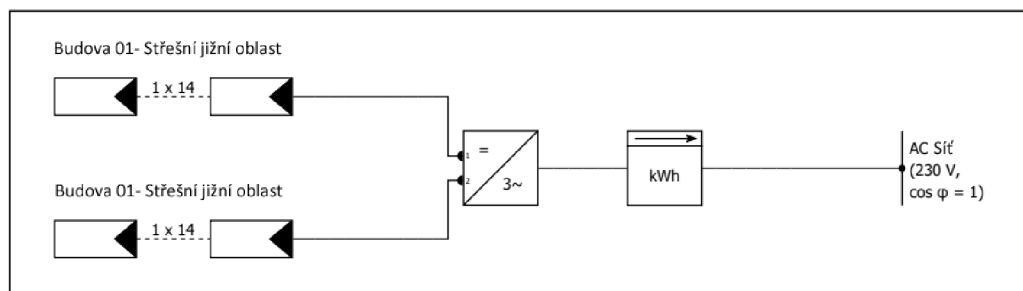
Kabelový plán: Pro panely montované paralelně s rovinou střechy, umožňuje kabelový plán automatický nebo manuální on-screen (přímo na monitoru) návrh prostřednictvím kabelového editoru (cable-cutting list), kde jsou k dispozici volby délky a průměru vodiče. Kabelové cesty jsou navrženy s ohledem na zvolenou konfiguraci střídače.

Import mapových podkladů a fotografií budov: Import obrázků ze stránek jako jsou například Goole Earth a jejich použití pro dimenzování projektu.

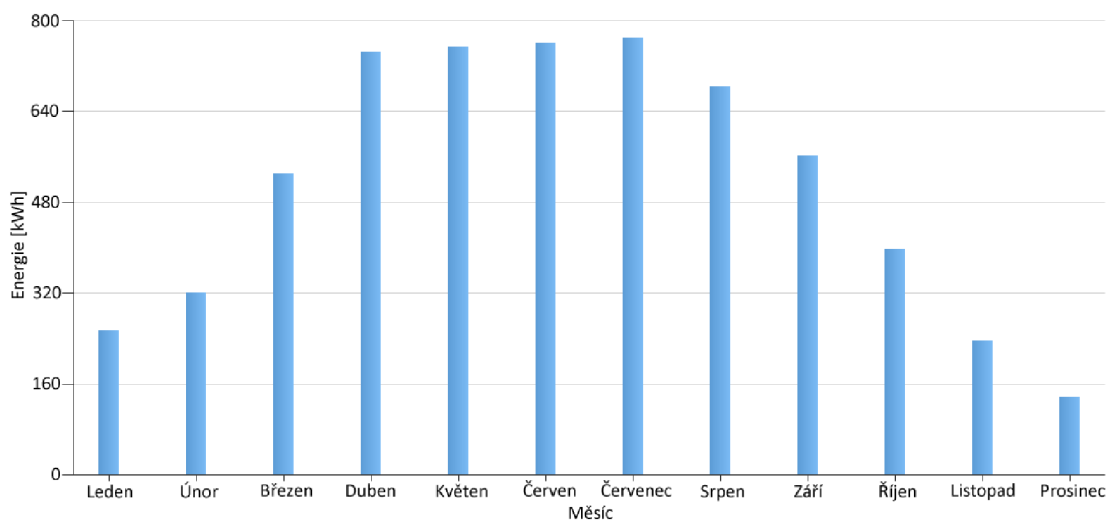
Import 3D modelů: Import 3D obrazů z létajících dronů nebo CAD programů



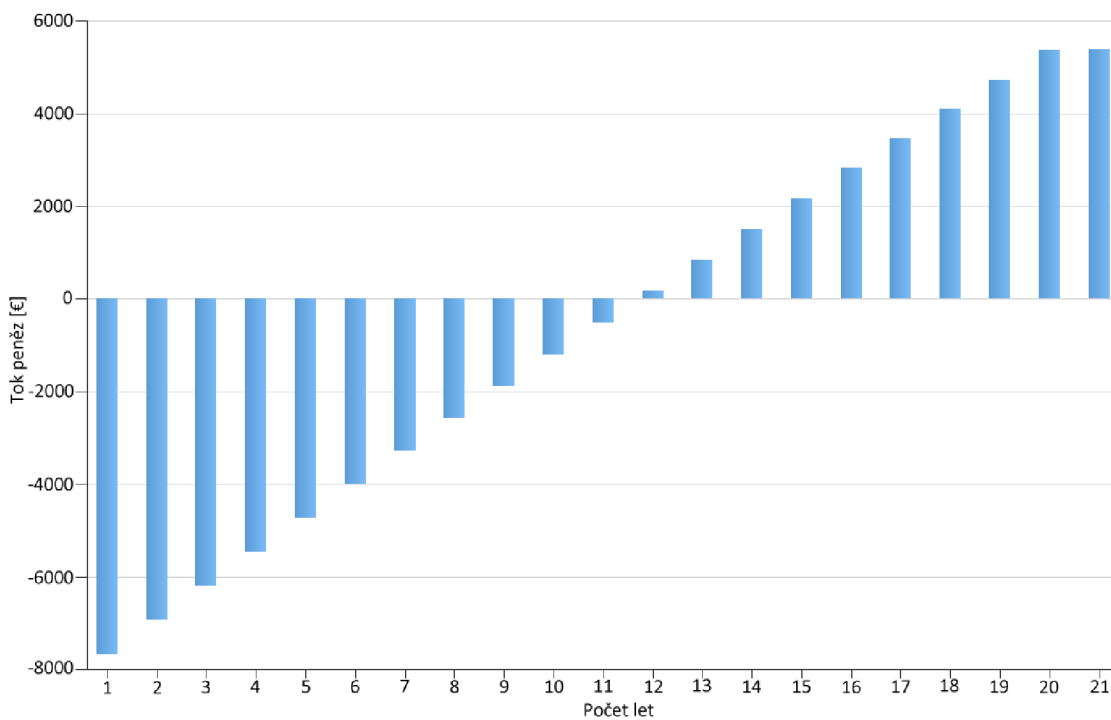
Obr. 6.1: Příklad vytvořeného 3D modelu v programu PV*SOL



Obr. 6.2: Výstup z programu PV*SOL – Schéma zapojení FV systému



Obr. 6.3: Výstup z programu PV*SOL – Výkon FVE v jednotlivých měsících



Obr. 6.4: Výstup z programu PV*SOL – Výdělek v jednotlivých letech



Obr. 6.5: Výstup z programu PV*SOL – Graf toku energie [kWh]

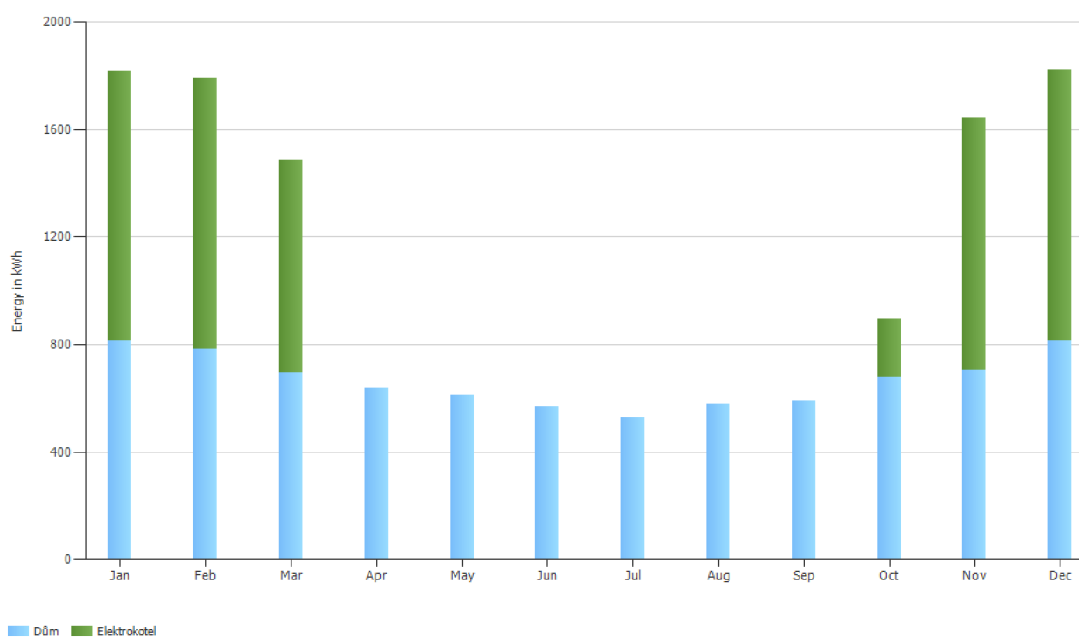
7 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY PRO RODINNÝ DŮM

7.1 Poloha domu

FVE bude postavena na rodinném domu, který se nachází ve Zlínském kraji poblíž města Uherské Hradiště v obci Hradčovice na GPS souřadnicích 49°03'00.2"N, 17°34'56.2"E. Boční strana střechy s plochou cca 85 m², která má být osazena panely není orientovaná přímo na jih, ale je pootočená přibližně o 16°, její sklon je 45°. V nejnižší části je střecha lehce zastíněna sousedním domem, nejvíce pak v zimních měsících, kdy je slunce nízko. Uprostřed střechy se nachází vikýř, který rovněž přispívá k jejímu zastínění.

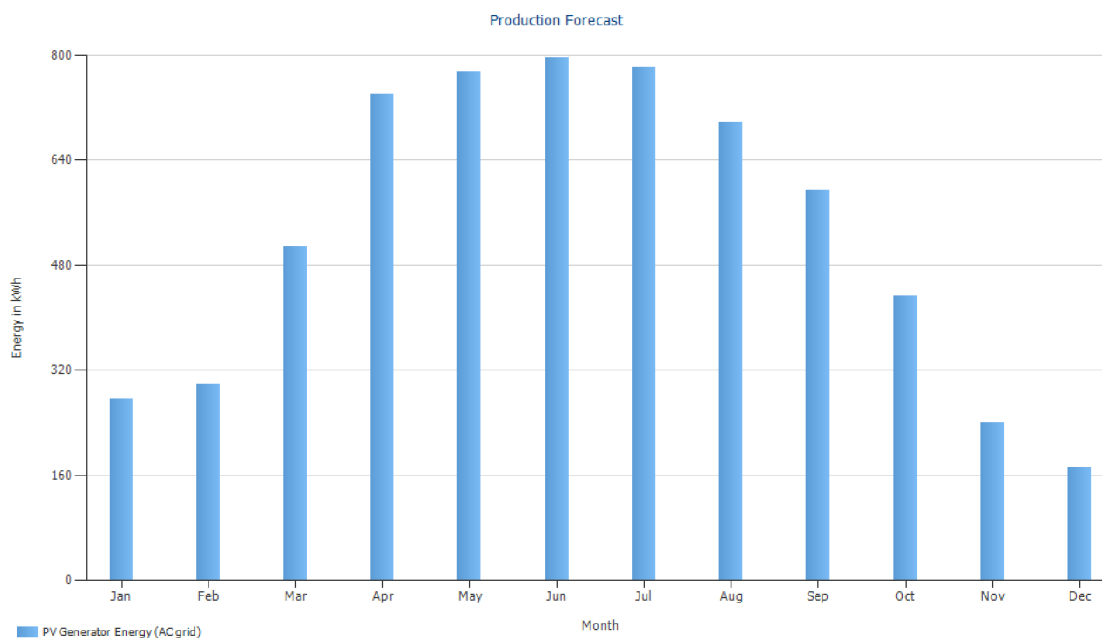
7.2 Zátěžový profil domácnosti

Spotřeba elektrické energie za období jednoho roku činí zhruba 13 000 kWh. V zimě a na podzim se energie spotřebuje více z důvodu používání přímotopů, elektrokotle a vlivem zkracování denního světla se taky častěji používá osvětlení. V zimním období je nejvíce energie spotřebováno přímotopy a elektrokotlem, dále topným tělesem pro ohřev vody, sklokeramickou deskou a dalšími spotřebiči jako rychlovarná konvice, mikrovlnná trouba, televize, počítače, atd. V programu PV*SOL byl vytvořen zátěžový profil (viz Obr 7.1), který lze použít z již předdefinovaných profilů popřípadě si vytvořit vlastní, ve kterém lze velmi podrobně nastavovat např. spotřebu energie během pracovních dní, víkendu, popřípadě dle jednotlivých ročních období nebo v rámci jednotlivých měsíců.



Obr. 7.1: Zátěžový profil domácnosti za období jednoho roku

Dům leží v oblasti, kde je roční souhrn slunečního záření dle Obr. 1.2 v rozmezí 1082 – 1109 kWh/m². FVE bude na střeše zabírat přibližně 38 % její celkové plochy, asi 32,8 m². Z těchto hodnot, lze určit, že na střechu dopadne za rok energie v rozmezí 35381 – 36264 kWh, nicméně využitelná hodnota bude mnohem menší, protože panely nedosahují účinnosti 100 %. Dosažená hodnota roční produkce určená programem PV*SOL je přibližně 6297 kWh (viz Obr 7.2).



Obr. 7.2: Roční produkce FVE vypočtena programem PV*SOL

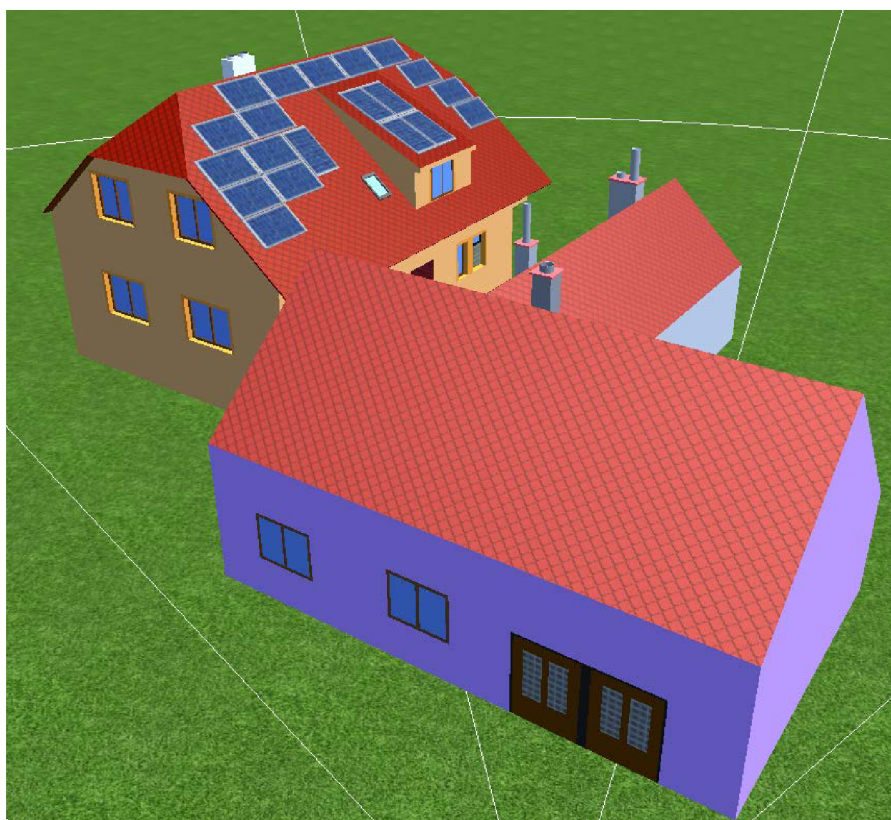
7.3 Model domu

V programu PV*SOL, mohou být vytvořeny návrhy FV systémů jak ve 2D tak i ve 3D. V této práci je použit návrh ve 3D, vzhledem k tomu, že program umožňuje tvorbu spíše jednoduchých modelů, bez doplňkových prvků, jako například balkonů, složitějších vikýřů atd., byl pro zhotovení detailního modelu domu a okolních objektů vybrán program SketchUp, ve kterém lze tvořit složitější 3D modely (viz. Obr. 7.3).



Obr. 7.3: Vytvořený model rodinného domu v programu SketchUp

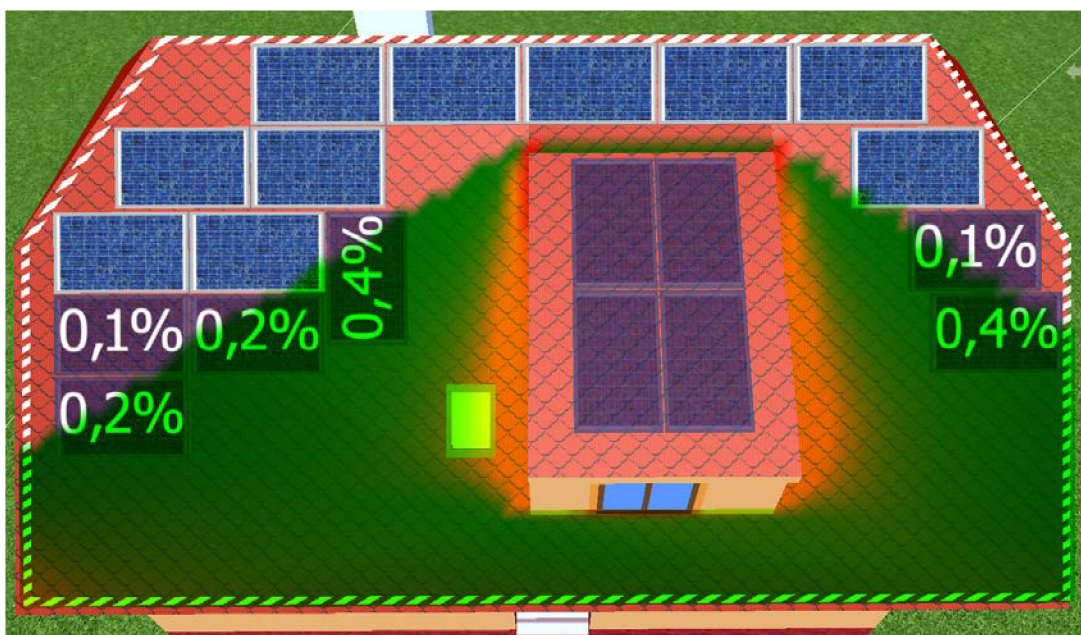
Po vytvoření domu následovalo vymodelování okolních objektů, které vrhají na střechu stín, v tomto případě se jedná o sousední dům. Po zhotovení, bylo možné vytvořit v programu PV*SOL 3D design a jednotlivé objekty vložit na pracovní plochu pro další kroky ke tvorbě FVE (viz Obr. 7.4).



Obr. 7.4: Finální 3D model vložený do pracovní plochy programu PV*SOL

7.4 Solární panely

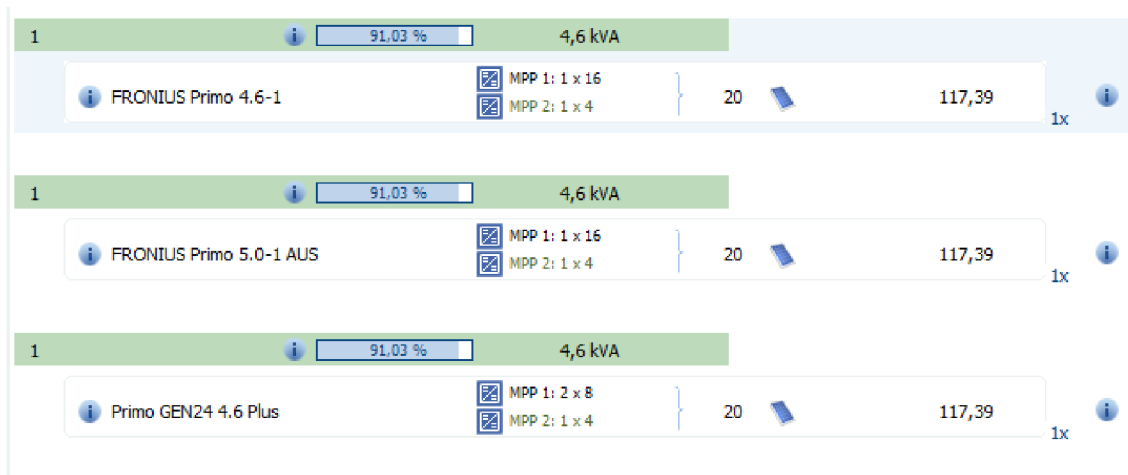
Na střechu lze nejvíce umístit přibližně 35 panelů s plochou jednoho panelu 1,64 m². Nicméně takové množství panelů není vhodné zejména z důvodu příliš velkého zastínění v nižších částech střechy a kvůli dotačnímu programu Nová zelená úsporám, který požaduje využití nejméně 70 % vyrobené energie pro vlastní spotřebu, dosažený maximální výkon by byl okolo 9,5 kWp, což je příliš mnoho energie, která by se v domě nespotřebovala, byla by dodána do rozvodné sítě, a proto je vhodné zvolit menší elektrárnu. Z těchto důvodů bylo zvoleno 20 polykrystalických panelů od firmy Jinko Solar s označením JKM275PP-60, které udává, že výkon panelu je 275 Wp, skládá se z 60 solárních článků, dosahujících účinností 16,8 % [44]. Celkový výkon FVE je tedy 5,5 kWp. Panely nejsou uspořádány rovnoměrně pod sebou, protože bylo tímto stylem rozmístění dosaženo nejnižšího zastínění, které činí nejvíce 0,4 % z celoročního osvětlení (viz Obr. 7.5). Pokud by byly panely rozmístěny po celé střechě, zastínění by bylo až 12 %, zejména ve spodní části a blízkosti vikýře. S menší elektrárnou tak ze všech panelů dochází ke snížení výnosu zastíněním přibližně „jen“ o 0,5 %/rok, oproti 5,7 %/rok pokud by panely pokrývaly celou střechu.



Obr. 7.5: Simulace zastínění během jednoho roku

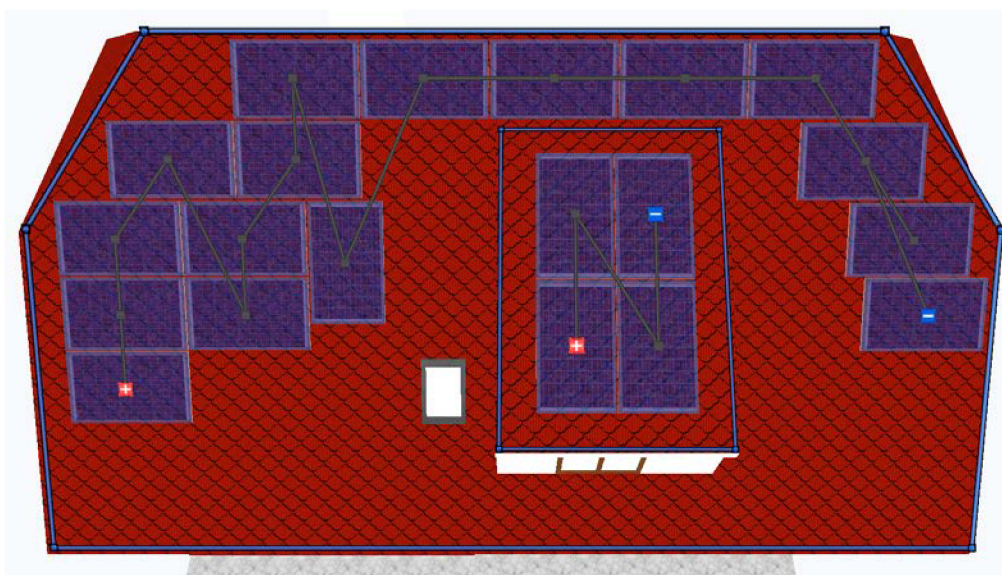
7.5 Střídač a propojení panelů

Po výběru panelů a jejich rozmístění na střechu následuje vybrání vhodného střídače. V programu PV*SOL bylo zvoleno, aby byly všechny panely nakonfigurovány v rámci jednoho střídače. Konfiguraci lze nechat provést automaticky, popřípadě zvolit konfiguraci manuální a vybrat si konkrétní střídač z uvedené nabídky, která je velmi velká. V tomto případě byl zvolen automatický návrh pro výběr vhodného střídače, kde program našel optimální varianty (viz Obr. 7.6). Z těchto možností byl zvolen střídač Fronius Primo 4.6-1, se dvěma MPP vstupy, kdy panely umístěné na vikýři obsadí první MPP vstup a panely na střechě druhý MPP vstup.



Obr. 7.6: Optimální střídače vybrané programem PV*SOL

Po zvolení vhodného střídače následuje poslední záložka se zapojením kabeláže. Kabeláž lze opět zapojit manuálně, popřípadě vytvořit automaticky, tak jako to bylo zvoleno v tomto případě. FV panely jsou zapojeny do série (viz Obr. 7.7).



Obr. 7.7: Zapojení FV panelů

7.6 Výběr akumulátoru

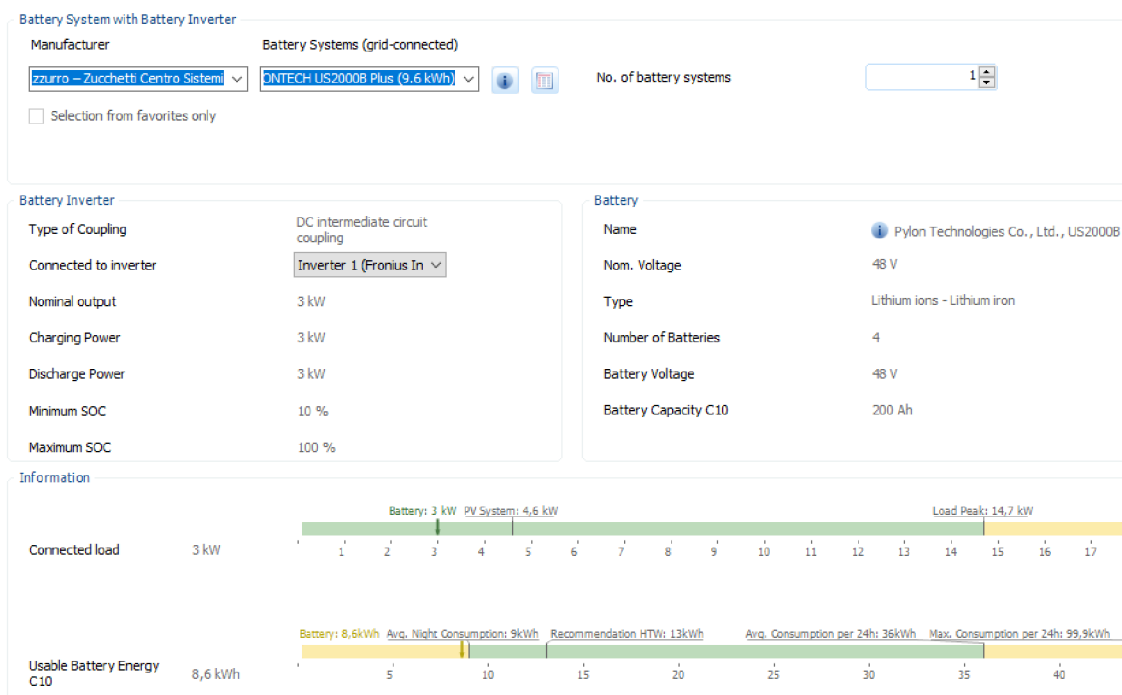
Po provedení předešlých kroků, lze přistoupit k výběru vhodného akumulátoru. Na trhu je jich nepřeberné množství, momentálně jsou nejčastější Olověné a Lithium-iontové. V návrhu byla zvolena baterie Li-ion, využívající strukturu LiFePO_4 jako katodu. Ačkoli jsou LiFePO_4 akumulátory dražší než olověné, byly zvoleny z důvodu vysoké energetické hustoty, baterie bude mít menší rozměry a hmotnost. Jedná se o olivínovou strukturu, která je velmi stabilní, nehořlavá, má nízkou míru samovybíjení a velký počet cyklů nabití/vybití. Nevýhodnou je menší rozsah provozních teplot, nicméně pokud by byly baterie umístěny ve sklepě, tento problém by nebyl příliš závažný, protože se zde

teplota v průběhu roku pohybuje od 10 do 25 °C.

Program dle získaných parametrů ze zátěžového profilu a maximálního generovaného výkonu FVE, určí maximální zatížení a navrhne optimální rozsah kapacity v kWh, jakou by baterie měla mít (viz. Obr. 7.8). Optimální rozsah kapacity byl určen mezi 9 – 24 kWh. Vzhledem k dotačnímu programu Nová zelená úsporám, který požaduje využití nejméně 70 % vyrobené energie pro vlastní spotřebu, musí být kapacita akumulátoru vhodně zvolena, aby byla tato podmínka splněna. Po mnoha testováních bylo nejlepších výsledků dosaženo s akumulátorem PylonTech US2000B Plus 48V (9,6 kWh), se kterým byl podíl vlastní spotřeby určen přibližně na hodnotu 76 %, jenž je pro získání dotace dostačující. Pokud by měla baterie kapacitu nižší, např. 7,6 kWh, podíl vlastní spotřeby by byl 68 %, což by nedostačovalo k získání podpory. Pokud by naopak baterie měla kapacitu vyšší, dosáhlo by se sice většího podílu vlastní spotřeby, ale zvýšila by se cena systému.

PylonTech US2000B Plus je modulární uložení se základní kapacitou jednoho bloku 2,4 kWh. Lze spojit paralelně až 8 bloků a dosáhnout tak kapacity 19,2 kWh. Baterie umožňuje komunikaci s měničem po sběrnici CAN [45].

Battery System



Obr. 7.8: Záložka pro výběr akumulátoru

7.7 Optimalizace kabeláže a jističích prvků

Další krok, který je potřeba v programu udělat je vyplnit záložku „Cables“, jedná se o dimenzování vodičů. Po vyhodnocení místností, kde by mohl být střídač s baterií umístěn, byla vybrána jako nejvhodnější kotelna, která se nachází ve sklepě. Výška domu je 9 m, vzhledem k této hodnotě bylo odhadnuto, že bude potřeba vedení s délkou 15 m k propojení solárních panelů rozmístěných na střeše se střídačem umístěným

v kotelně. Do programu, bylo zapotřebí zadat, že se jedná o měděné vodiče s délkou 15 m, průřez byl dopočítán pomocí funkce, která nadimenzuje vodiče tak, aby byla jejich ztráta menší než 1 % (viz. Obr. 7.9). Průřezy obou vodičů byly určeny na hodnotu 2,5 mm². U zapojení s výkonnější částí byly ztráty vyčísleny na hodnotu 0,35 % (15,2 W) a u méně výkonné části na hodnotu 0,71 % (7,6 W). Poté musí být zadána délka kabelu od měniče k baterii. Ta by měla být co nejkratší, protože vodičem potečou poměrně velké proudy, které by na dlouhém vedení způsobovaly velké ztráty, docházelo by k přehřívání vodiče a jeho následnému zničení. Baterie a střídač by mohly být umístěny v těsné blízkosti maximálně do vzdálenosti 2 m, vypočtený průřez má vzhledem ke krátké vzdálenosti opět hodnotu 2,5 mm² se ztrátami 0,24 % (11,2 W). Zároveň se definují ochranné a jistící prvky celého systému, které se vkládají postupně po jednotlivých symbolech. Všechny výše zmíněné zadávané parametry se poté promítnou v záložce se schématem FVE.

Obr. 7.9: Funkce pro určení průřezu vodiče

7.8 Finanční analýza

PV*SOL umožňuje poměrně detailní nastavení financí ohledně FV systému. Lze zadávat jak výkupní, tak i nákupní ceny elektřiny. V nabídce je možno nastavit různé tarify, zadat počáteční investice, nastavit životnost jednotlivých zařízení, velikost dotační podpory, atd.

V současné době je v domě sjednán tarif Pohoda Styl s distribuční sazbou D45d (Přímotop) od společnosti Centropol energy. Aktuální celková jednotková cena pro rok 2020 je zobrazena v Tabulce 7.1.

Tabulka 7.1: Celková jednotková cena elektrické energie, převzato z [46].

Distribuční sazba	Přímotop D45d		Doba provozu
	bez DPH	s DPH	
Cena			
Vysoký tarif [Kč/MWh]	2305,91	2790,15	4 hod/den
Nízký tarif [Kč/MWh]	1846,27	2233,99	20 hod/den

Tarify jedou v poměru 5:1, z čehož vychází průměrná cena 2325,8 Kč/MWh, po převedení a zaokrouhlení 2,33 Kč/kWh. Společnost Centropol energy současně poskytuje výkup přebytků elektřiny, která se v domácnosti nespotřebuje, pro rok 2020 ve výši 800 Kč/MWh u FVE s instalovaným výkonem do 30 kWp [47]. V simulacích je tedy počítáno s nákupní cenou elektřiny 2,33 Kč/kWh a výkupní cenou 0,80 Kč/kWh.

Tabulka 7.2: Použité komponenty pro FVE, včetně ceny, převzato z [48], [49], [50].

	Typ	Cena [Kč]	Počet kusů
Solární panely	Jinko Eagle JKM 275 PP - 60	2 989	20
Akumulátor	PylonTech US2000B Plus 48V (2,4kWh)	26 136	4
Střídač	Fronius Primo 4.6-1 4600VA 20A	37 770	1

V záložce s finanční analýzou je potřeba vyplnit náklady FVE a výši získané dotace. Náklady se pohybují okolo 262 000 Kč a velikost dotace z programu Nová zelená úsporám by měla být vzhledem k navrženému systému až 150 000 Kč, jenže celková výše podpory je omezena na maximálně 50 % doložených výdajů, proto hodnota dotace bude 131 000 Kč, obě hodnoty se zakomponují do výpočtu (viz. Obr. 7.10) [23]. Roční inflace za cenu energie byla ponechána na výchozí hodnotě 2 %/rok.

Obr. 7.10: Záložka příjmy a výdaje ve finanční analýze

V PV*SOLU se musí zadat životnost jednotlivých zařízení (viz Obr. 7.11). Výrobci solárních panelů garantují maximální pokles účinnosti o 20 % za 25 let, nicméně životnost je podstatně vyšší a pohybuje se okolo 40 let, tato hodnota je nastavena pevně a dále se neupravuje. Komponenty FVE, jako jsou kabely, konektory, nosná konstrukce pro uchycení panelů, atd. mají životnost v rozmezí 25 – 30 let, bude je tedy potřeba za jeden životní cyklus FVE opravit, popřípadě zcela vyměnit. Pro rozdílné výsledky simulací se mění pouze životnost střídače a akumulátoru. Na střídač,

lze získat záruku 7 let, na akumulátor až 10 let [50], [51]. Byly provedeny celkem 3 simulace s rozdílnou životností jednotlivých komponentů.

Economic Efficiency Calculation

General Parameters
Income and expenditure
Investment Costs
Financing
Tax

Investment Costs

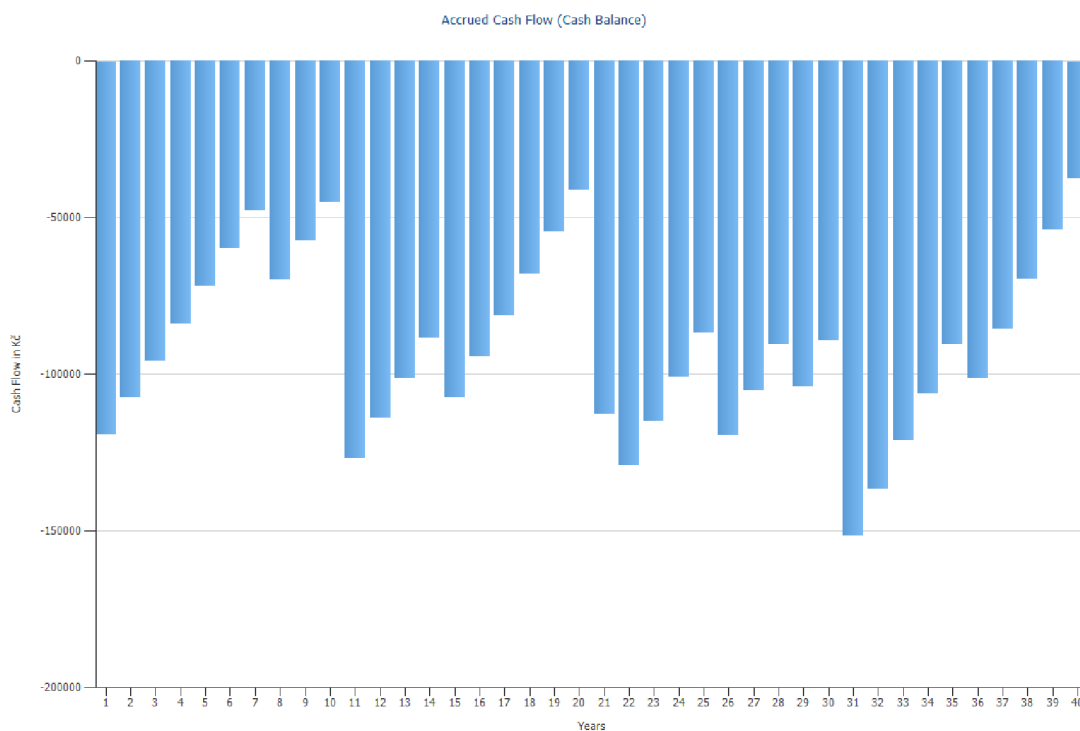
Position No.	Position	Amount [Kč]	Period of Use [years]	Inflation [%]
1	panely	60000,00	40	0,00
2	akumulátor	104544,00	20	0,00
3	střídač	37770,00	10	0,00
4	konstrukce	60000,00	25	0,00
Sum		262314,00		

Add Position Delete Position

<< Back Continue >> Close Help

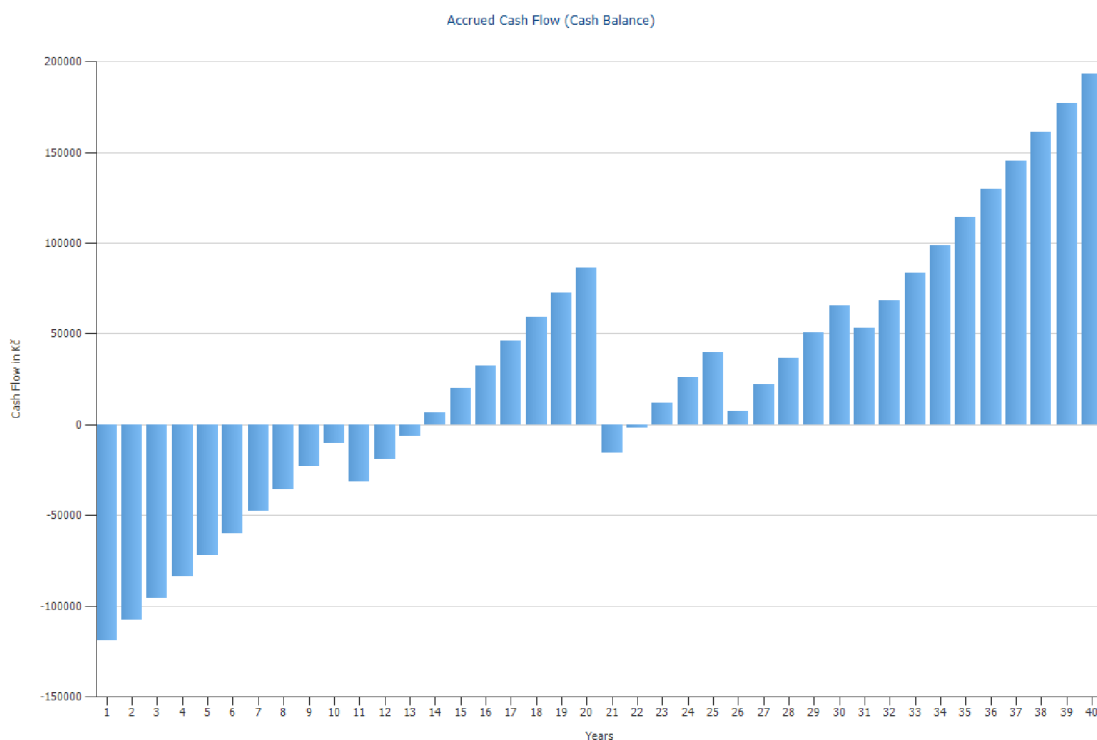
Obr. 7.11: Zadání životnosti jednotlivých komponent FVE.

V první variantě je simulována nejhorší možná situace, kdy se střídač s akumulátorem porouchají hned po záruce, tj. střídač po 7 letech a akumulátor po 10 letech. Z výsledků je jasné, že při nastání takové situace by se FVE elektrárna vůbec nevyplatila, protože je téměř po celou dobu ve ztrátách a ve finále se za období její životnosti nedostaví žádný výdělek (viz Obr. 7.12). Nicméně tato varianta není příliš pravděpodobná z důvodu zvolení kvalitních komponent, které mají životnost delší než je záruční doba.



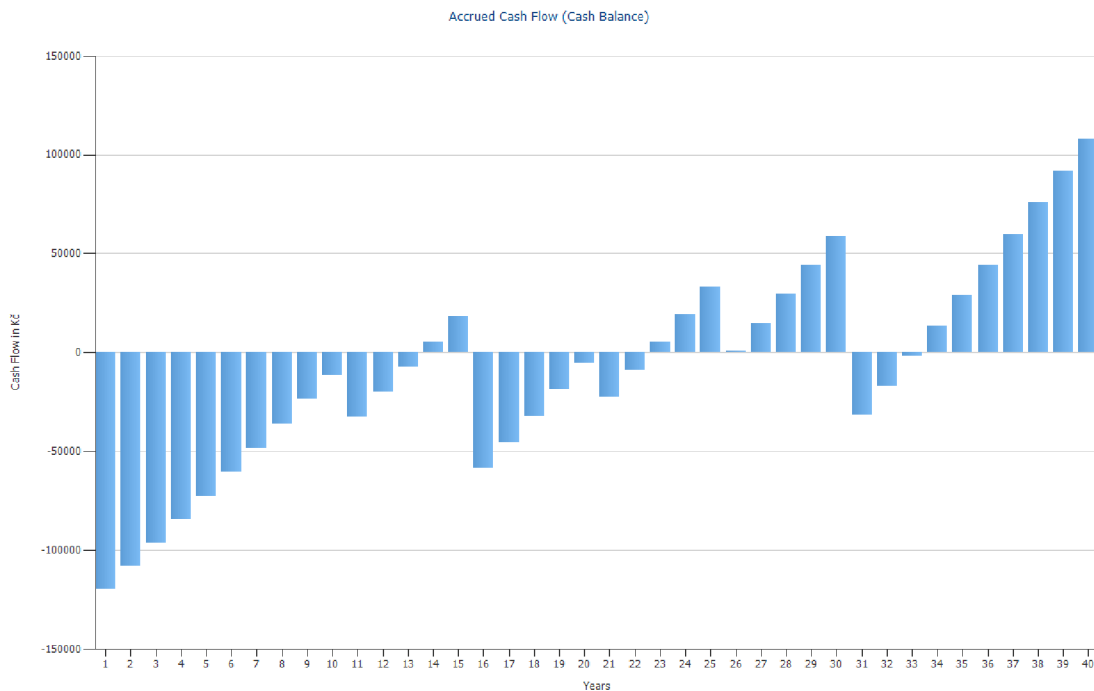
Obr. 7.12: Nejhorší varianta, životnost střídače 7 let, akumulátoru 10 let

Ve druhé variantě je naopak simulována nejlepší možná situace. Životnost střídačů Fronius je testována a zacílena na 80 000 hodin, z čehož vychází životnost na 9,1 let, v simulaci je hodnota nastavena na 10 let [52]. Životnost akumulátorů je vyjádřena podle počtu cyklů nabití a vybití. Katalogový list baterie PylonTech US2000B udává životnost 10 let a více, počet cyklů > 6000 při 80 % Depth of Discharge (DOD) [45]. Průměrná česká domácnost udělá přibližně 250 cyklů nabití/vybití za rok, podle toho vychází životnost na 24 let [53]. Program PV*SOL určil životnost na více než 20 let, hodnota pro simulaci byla nastavena na 20 let. Z výsledků vychází, že se FVE zaplatí přibližně po 13 letech provozu, kdy se výtěžek dostane do plusu, po pár letech následuje sice menší pokles, který je způsobený výměnou baterie, nicméně dále vycházejí pouze kladná čísla (viz Obr. 7.13).



Obr. 7.13: Nejlepší varianta, životnost střídače 10 let, akumulátoru 20 let

Ve třetí variantě byla životnost střídače ponechána na 10 letech, jediná úprava se týkala životnosti baterie, jež byla nastavena na hodnotu 15 let, která se jeví jako nejpravděpodobnější. Počáteční náklady se zaplatí v horizontu 13 let, po 10 letech se musí koupit střídač a po 15 letech baterie, v tu dobu se finance FV systému pohybují v kladných i záporných číslech a přibližně po 32 letech provozu, téměř na konci její životnosti jsou pouze v plusu a FVE začíná šetřit náklady za elektřinu (viz Obr. 7.14).

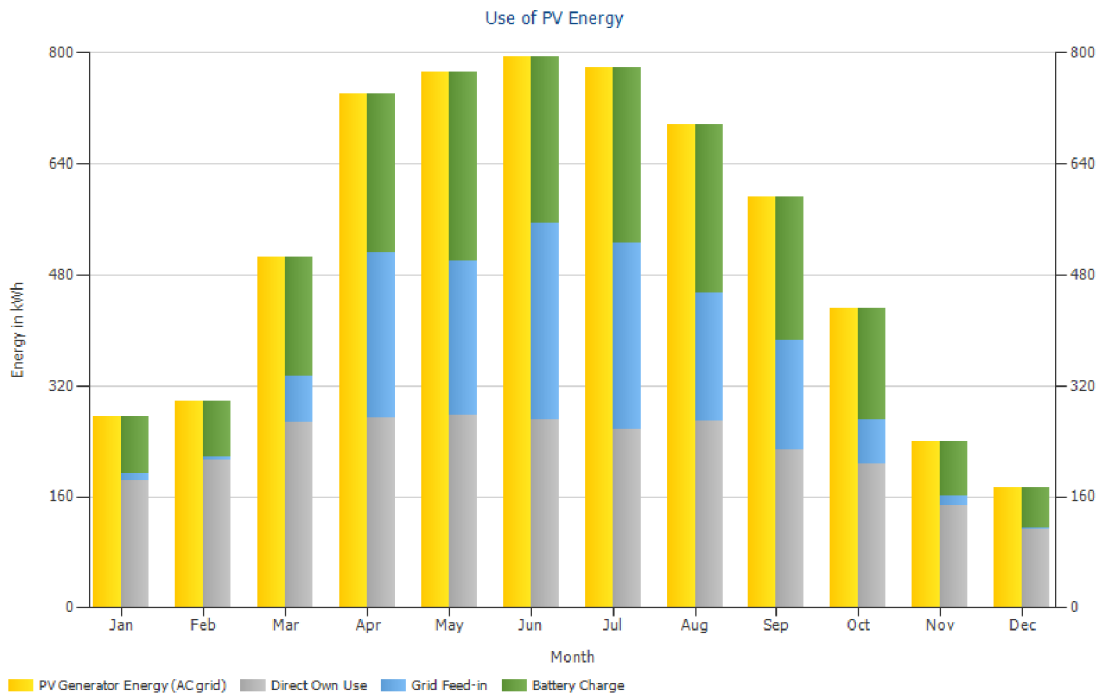


Obr. 7.14: Střední varianta, životnost střídače 10 let, akumulátoru 15 let

7.9 Vyhodnocení FVE

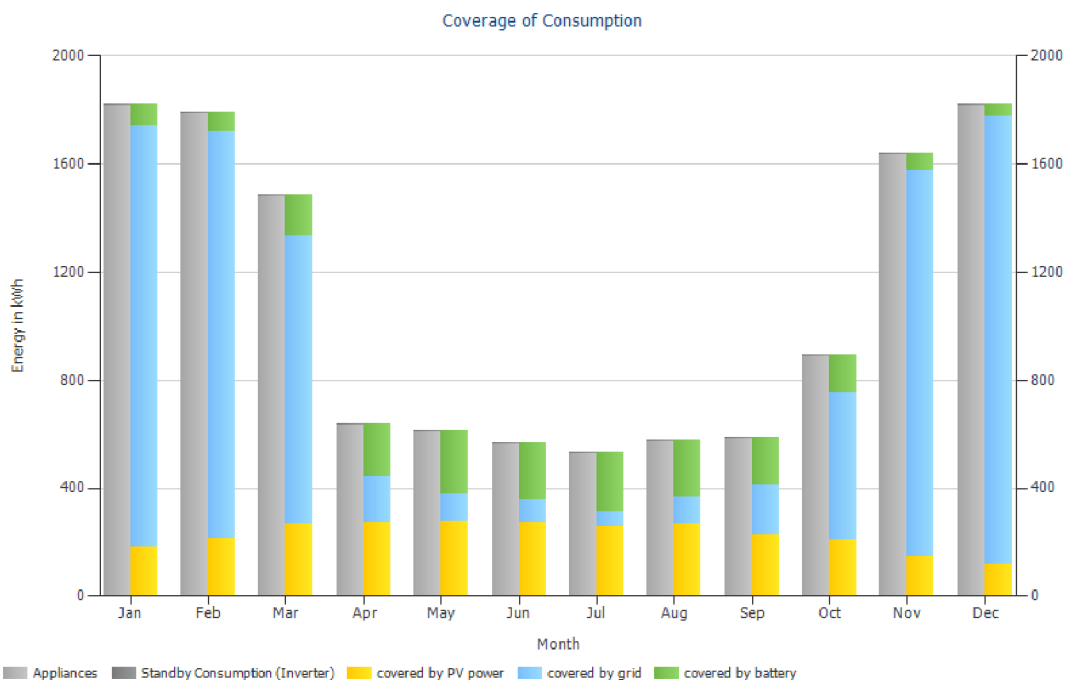
Po zadání všech potřebných hodnot lze přepnout na poslední záložku, která shrne výsledky navrženého FV systému.

Na obrázku 7.15 je zobrazena výroba FV energie a její využití pro různé účely. Dle očekávání vyrábí FVE nejvíce energie v letních měsících, kdy se vyrobená energie blíží hranici 800 kWh/měsíc, nicméně je jí poměrně hodně, v domácnosti se všechna nevyužije, a proto je přibližně 20 - 35 % energie dodáno do veřejné distribuční sítě. Naopak v zimních měsících zejména v Listopadu, Prosinci a Lednu je vyrobená energie až 3x nižší, vzhledem ke zvýšené spotřebě, kdy je delší dobu zapnuto osvětlení a vytápění. Téměř všechna energie se spotřebuje v domácnosti, část se spotřebuje přímo, část se uloží do baterií k pozdějšímu využití a minimální množství je dodáno do rozvodné sítě.

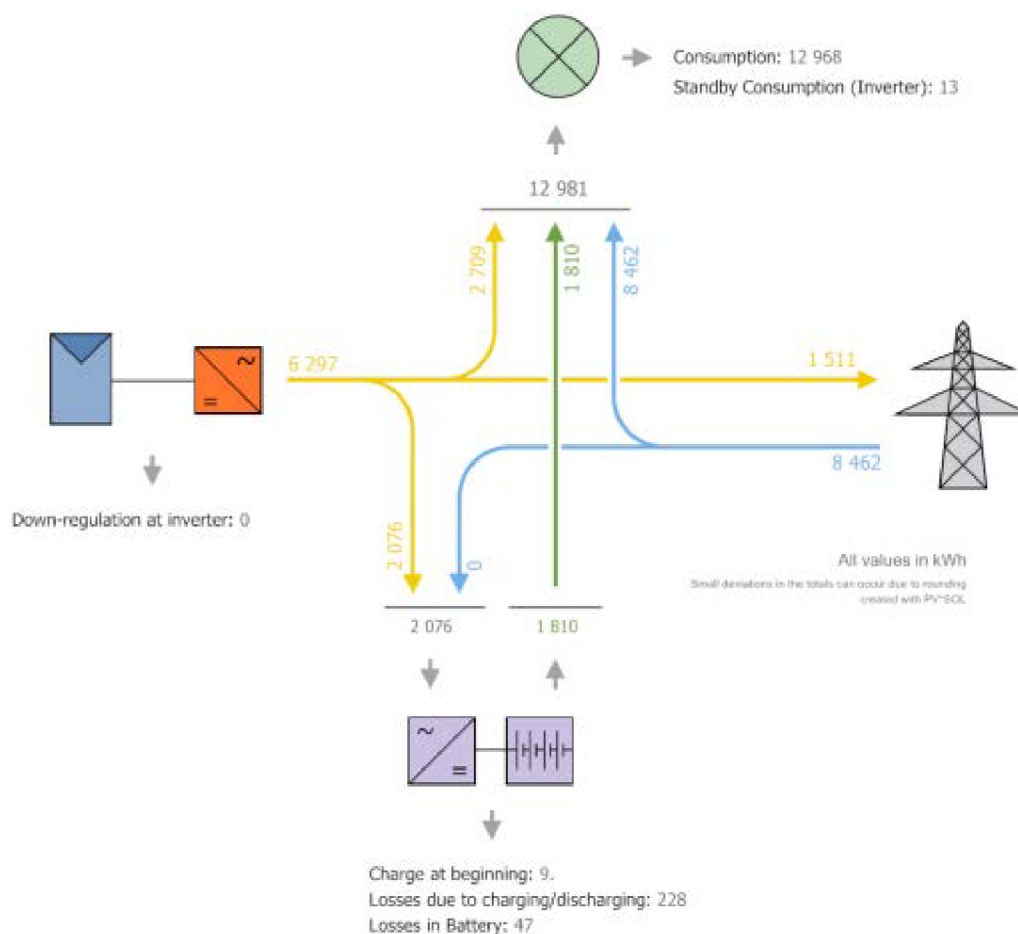


Obr. 7.15: Výroba elektřiny z FVE během roku

Dále je možno zobrazit Pokrytí spotřeby. Spotřebovaná energie činí přibližně 13 000 kWh/rok, z toho solární panely vyrobí 6297 kWh/rok, z této hodnoty je 1511 kWh dodáno do rozvodné sítě. Obrázek 7.16 ukazuje, že se nejvíce energie odebere z distribuční sítě přes zimu a celkem je během roku odebráno 8462 kWh. Výsledné zobrazení toku energie mezi FVE, akumulátorem, spotřebou v domácnosti a rozvodnou sítí je na obrázku 7.17.



Obr. 7.16: Výsledky analýzy pokrytí spotřeby v domácnosti



Obr. 7.17: Zobrazení energetického toku

Ve výsledcích simulace je udána hodnota Globálního záření na modul, která je rovna 1288,5 kWh/m². Velikost FV systému se rozkládá na ploše 32,8 m². Po vynásobení těchto hodnot dostaneme, jakou energii má sluneční záření dopadající na povrch střechy za jeden rok. Celkově vychází hodnota 42 263 kWh. Vyrobená roční energie pomocí FVE je 6297 kWh, tato hodnota získané energie není příliš velká, nicméně je očekávaná, vzhledem k faktu, že solární panely nejsou dokonalé a nedosahují účinnosti 100 %. Poměrem těchto energií, lze zjistit, že průměrná účinnost přeměny slunečního záření na elektrickou energii je přibližně 14,9 % po dobu života FVE, což odpovídá účinnosti současně používaných polykrystalických solárních panelů. Použité FV panely Jinko Eagle JKM 275 PP – 60, mají účinnost 16,8 %, která ale postupně klesá a v konečném důsledku můžou mít průměrnou účinnost právě určených 14,9 %.

Z ekologického hlediska je zajímavým parametrem například určení, že používáním FVE, lze ulevit životnímu prostředí snížením produkce oxidu uhličitého - CO₂ až o 2830 kg za rok, který by se kupříkladu uvolnil při spalování fosilních paliv v tepelných elektrárnách.

8 ZÁVĚR

První část bakalářské práce rozebírá teorii spojenou s výrobou elektrické energie pomocí slunečního záření. Kapitoly pojednávají o podmínkách slunečního záření v České republice, přechodu PN, který je využíván FV články, dále jsou popsány jednotlivé typy FV panelů, včetně jejich účinností. Vzhledem k zadání bakalářské práce, které uvádí, že se jedná o FVE s bateriovým uložištěm jsou vysvětleny principy baterií, se kterými se lze nejčastěji ve FV setkat. Následně jsou uvedeny typy používaných zapojení FVE, které mohou být Off-grid, On-grid nebo např. hybridní zapojení. Předposlední kapitola formuluje výhody FVE, legislativu a dotace, které je možno získat při výstavbě za splnění určitých podmínek. Na závěr jsou vyjmenovány počítačové programy, které se uplatní při návrhu FVE. K dostání je jich velké množství, mají různé výhody, nevýhody, proto je na každém jaký si zvolí a bude mu nejlépe vyhovovat.

Druhá část je zaměřena na samotnou realizaci FVE v programu PV*SOL premium. Nejprve musel být vytvořen zátěžový profil domácnosti, od kterého se odvíjí celý návrh. Následovalo vymodelování okolních objektů a rodinného domu, na jehož střechu byly umístěny FV panely s nimiž byla provedena simulace zastínění, která odhalila kritická místa s nejvyšším zastíněním, ze kterých byly panely následně odstraněny, aby se zbytečně nesnižoval celkový výkon a nedocházelo ke snížení výnosu, které je ve výsledku pouhých 0,5 % za rok. Na střeše tedy bylo ponecháno 20 FV panelů o celkovém výkonu 5,5 kWp. Po těchto simulacích bylo zvoleno automatické vygenerování návrhů střídačů, s vhodnými parametry, ze kterých byl zvolen střídač Fronius Primo 4.6-1. Dalším důležitým krokem bylo zvolení baterií s vhodnou kapacitou z důvodu zajištění podmínky z programu Nová zelená úsporám, požadující využití nejméně 70 % energie pro vlastní spotřebu. Po otestování několika variant vyšla nejlépe baterie PylonTech US2000B Plus s kapacitou 9,6 kWh, se kterou je podíl vlastní spotřeby přibližně 76 %, což je pro splnění dotační podmínky dostačující.

Cena FV systému se pohybuje okolo 262 000 Kč, podělením částky výkonem FVE 5,5 kWp vychází přibližná hodnota 47 600 Kč/kWp, což je optimální cena u FVE s bateriovým uložištěm. U systému s akumulací energie s využitelným ziskem ≥ 4000 kWh za rok, lze získat dotaci ve výši 150 000 Kč, nicméně takovouto částku lze získat v případě, že by cena FV systému byla alespoň 300 000 Kč. V tomto případě bude získaná dotace odpovídat 50 % celkových způsobilých výdajů, tedy 131 000 Kč. Pro finanční analýzu byly vytvořeny 3 možné varianty s různou životností jednotlivých komponent.

Nejhorší varianta, u které by se komponenty porouchaly hned po záruce, tj. akumulátor po 10 letech a střídač po 7 letech dopadla velmi špatně. FVE by se za její celý životní cyklus vůbec nezaplatila a po celou dobu by byla ve ztrátách, nicméně tato varianta není příliš pravděpodobná.

Naopak v nejlepší variantě vydrží akumulátor 20 let a střídač 10 let. FVE se zaplatí přibližně po 13 letech a po tomto období začíná vydělávat, respektive šetří finance, které by se použili na nákup energie z distribuční sítě.

Ve střední variantě byla ponechána životnost střídače na 10 let, ale snížila se životnost akumulátoru na 15 let, která se bude jevit jako nejpravděpodobnější. Vzhledem k častější výměně komponentů budou výdělky menší a nebudou dosahovat takých hodnot jako v nejlepší variantě. Tento systém se dostane do kladných hodnot přibližně po 13 letech provozu, následuje výdělečné období 2 let, poté dochází k výměně akumulátoru a FVE je opět ve ztrátách. Během 7 let se akumulátor zaplatí a po 22 letech provozu se dá říci, že je systém v kladných hodnotách a začíná šetřit finance.

Z výsledků simulací programu PV*SOL, lze zjistit spoustu zajímavých parametrů, udávajících např., že výstavbou FVE lze ulevit životnímu prostředí snížením produkce oxidu uhličitého o 2830 kg/rok, nebo např. že na FV panely dopadne energie s hodnotou 42 263 kWh/rok, ale pomocí FVE se využije 6300 kWh, což je pouhých 15%.

Závěrem lze říci, že se FV jeví, jako perspektivní technologie se kterou lze v budoucnu počítat, nicméně je na ní ještě hodně věcí, které bude potřeba zdokonalit, zejména pak zvýšení účinnosti přeměny sluneční energie na elektrickou, popřípadě zajistit umístění panelů tak, aby byly nepřetržitě osvětleny slunečním zářením.

LITERATURA

- [1] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2011, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6
- [2] SOLAR. *Fotovoltaika a fotovoltaický jev* [online]. 5. 9. 2015 [cit. 2019-10-11]. Dostupné z: <http://www.solarniliga.cz/fotovoltaika-a-fotovoltaicky-jev/>
- [3] *Solární (fotovoltaické) články* [online]. [cit. 2019-10-11]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [4] *Teorie fotovoltaiky* [online]. [cit. 2019-10-14]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/fotovoltaika.aspx>
- [5] POULEK, Vladislav a Martin LIBRA. *Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů* [online]. [cit. 2019-10-14]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/konstrukce-a-vyroba-fotovoltaickych-clanku-a-panelu--10310>
- [6] *Fotovoltaické panely* [online]. [cit. 2019-10-16]. Dostupné z: <http://www.a3.cz/solarni-panely-informace.php>
- [7] *Jaký je rozdíl mezi monokrystalickým a polykrystalickým panelem?* [online]. [cit. 2019-10-16]. Dostupné z: https://www.joyce-energie.cz/files/joyce-energie.cz/files/Mono_poly_rozdl.pdf
- [8] *Princip fotovoltaiky* [online]. [cit. 2019-10-25]. Dostupné z: <https://www.solartec.eu/rodinne-domy-a-strechy/fotovoltaika/princip-fotovoltaiky>
- [9] *Tenkvrstvé panely* [online]. [cit. 2019-10-19]. Dostupné z: <http://eshop.terms.eu/cz/e-shop/c68831/tenkvrstve-panely.html>
- [10] *Představujeme druhou generaci CIGS tenkovrstvých fotovoltaických panelů* [online]. 16. 04. 2010 [cit. 2019-10-25]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/index.php?rs=4&rl=2010032102&rm=29>
- [11] VOJÁČEK, Antonín. *Začínáme s fotovoltaickými panely* [online]. 23. 11. 2009 [cit. 2019-10-23]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/6068-zaciname-s-fotovoltaickymi-panely>
- [12] *Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny* [online]. [cit. 2019-10-19]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [13] *Solar power inverters* [online]. [cit. 2019-10-26]. Dostupné z: <https://tungvp.wordpress.com/2010/04/11/solar-power-inverters/>
- [14] JORDÁN, Milan a Filip CHLACHULA. *Instalace fotovoltaických panelů na šikmou střechu* [online]. 21. září 2009 [cit. 2019-10-23]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/strecha/instalace-fotovoltaickych-panelu-na-sikmou-strechu>
- [15] *22,90 %: Padl nový světový rekord v účinnosti tenkostěnných CIS solárních článků* [online]. 21. 12. 2017 [cit. 2019-10-23]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2017122006/22-90-padl-novy-svetovy-rekord-v-ucinnosti-tenkostennyh-cis-solarnich-clanku>

- [16] *Fotovoltaika v podmínkách České republiky* [online]. [cit. 2019-10-23]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>
- [17] *Hybridní solární elektrárna 3,58 kWp s baterií* [online]. [cit. 2019-10-23]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/solarni-systemy/fotovoltaika/hybridni-solarni-elektrarna-s-bateriemi-li-ion-354-kwp-na-klic/>
- [18] TICHÝ, Jiří. *Lithiové akumulátory* [online]. UETE FEKT VUT v Brně, 21. 12. 2015 [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektřiny/13612-lithiove-akumulatory>
- [19] DUFKOVÁ, Marie. *Li-ion baterie* [online]. 25. dubna 2015 [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/prakticke-informace/1677-li-ion-baterie>
- [20] POŠTA, Josef a Bohuslav PETERK. *Konstrukce, provoz a údržba akumulátorů aneb prodlužte životnost vaší baterie* [online]. 05. 08. 2016 [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <https://www.stavebni-technika.cz/clanky/konstrukce-provoz-a-udrzba-akumulatoru-aneb-prodluzte-zivotnost-vasi-baterie>
- [21] *Solární regulátory* [online]. [cit. 2019-11-06]. Dostupné z: <http://www.sticka.cz/kategorie/solarni-regulatory/>
- [22] *Výhody solární energie* [online]. [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <http://www.ekotechnik.cz/vyhody-solarni-energie.html>
- [23] *Rodinné domy – zdroje energie* [online]. [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/nabidka-dotaci/rodinne-domy-zdroje-energie/>
- [24] *Zákony a předpisy* [online]. [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/Zakony-fotovoltaika.aspx>
- [25] *Potřebujete stavební povolení na montáž FVE?* [online]. [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/je-potreba-stavebni-povoleni-nebo-ohlaska-na-instalaci-fotovoltaickych-panelu/>
- [26] KUDLÍK, Leoš. *Solární panely z pohledu stavebního zákona* [online]. 02. 06. 2017 [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: <https://www.iurium.cz/2017/06/02/solarni-panely-z-pohledu-sz/>
- [27] *PV Manager: Software pro profesionální plánování FV projektů* [online]. 24. 05. 2012 [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/?home/2012052404/pv-manager-software-pro-profesionalni-planovani-fv-projektu>
- [28] *PV Manager licences and prices (Europe)* [online]. [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: https://www.ibt-solar.com/fileadmin/redaktion/en/Installer/PV_Manager_Order_Form_Europe.PDF
- [29] *Software Sinvert Select společnosti Siemens - snadné dimenzování fotovoltaických elektráren* [online]. 12. 04. 2010 [cit. 2019-11-04]. Dostupné z: <https://www.siemens.cz/press/software-sinvert-select-spolecnosti-siemens-snadne-dimenzovani-fotovoltaickych-elektřaren>

- [30] *Fotovoltaika* [online]. [cit. 2019-10-25]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika>
- [31] *Simulační software Polysun* [online]. [cit. 2019-11-04]. Dostupné z: <https://www.taush.cz/products/simulacni-software-polysun/>
- [32] *PV*SOL premium 2019 (Einzelplatzlizenz)* [online]. [cit. 2019-11-04]. Dostupné z: <https://shop.valentin-software.com/collections/produkte/products/pv-sol-premium?variant=12471067541607>
- [33] *Nový software pro precizní návrh fotovoltaických elektráren* [online]. 23. 05. 2014 [cit. 2019-11-04]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/114617-novy-software-pro-precizni-navrh-fotovoltaickych-elektren>
- [34] *PV*Sol* [online]. [cit. 2019-11-06]. Dostupné z: <http://www.cefas.cz/pv-sol/#premium>
- [35] *Internetová Poradna I-EKIS* [online]. 04. 08. 2018 [cit. 2019-11-06]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/cz/ekis/i-ekis/96772>
- [36] *Polysun PV* [online]. [cit. 2019-11-04]. Dostupné z: <https://www.velasolaris.com/product/polysun-photovoltaik-designer/?lang=en>
- [37] MELICHEROVÁ, Petra a kol. *Solární elektrárny* [online]. Praha 4, 2018 [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: http://stretech.fs.cvut.cz/2018/sbornik_2018/pdf/89.pdf
- [38] BENDA, Vítězslav, Kamil STANĚK a Petr WOLF. *Fotovoltaické systémy* [online]. 2011 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/10537342-Fotovoltaicke-systemy.html>
- [39] ŘEHÁK, Jaromír, Jiří BÁRTEK a Radim BAŘINKA. *Fotovoltaika a fotovoltaické systémy v podmínkách ČR a jejich navrhování* [online]. Praha 2 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: https://www.mpo-efekt.cz/dokument/98_8050.pdf
- [40] Structure of thin film solar cells. In: *SUN POWER SOURCE* [online]. [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <https://www.sunpowersource.com/thin-film-solar-panels/>
- [41] Improvement of solar cell performance and reversibility of ageing effects in hydrogenated amorphous silicon solar cells under illumination and electric field stress: role of TCO and substrate. In: ResearchGate [online]. [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/301636638_Improvement_of_solar_cell_performance_and_reversibility_of_ageing_effects_in_hydrogenated_amorphous_silicon_solar_cells_under_illumination_and_electric_field_stress_role_of_TCO_and_substrate/figures?lo=1
- [42] Co je to hybridní solární elektrárna? E.ON [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/co-je-to-hybridni-solarni-elektarna>
- [43] Hybridní fotovoltaický systém. In: SOLARENVI [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.solarenavi.cz/a-7-hybridni-fotovoltaicky-system.html>
- [44] JINKO SOLAR: Eagle 60P 260-280 Watt [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://www.fve-mp.cz/data/blob/product-application_pdf-20181212020407-8711-jinko-datasheet-en.pdf

- [45] PYLON TECHNOLOGIES: Produktový manuál – US2000B Lithium-železo-fosfátové baterie [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.solidpower.cz/data/user-content/datasheety/baterie/pylontech-manual-us2000-cz.pdf>
- [46] CENTROPOL: Ceník elektřiny společnosti Centropol Energy, a.s. pro domácnosti s odběry ze sítí nízkého napětí [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://www.centropol.cz/wp-content/uploads/d-pohoda-styl_1912_eon-1.pdf
- [47] Výkup elektřiny [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.centropol.cz/vykup-elektriny/>
- [48] Jinko Eagle JKM 275 PP - 60. Kvalitní komponenty pro fotovoltaiku [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.fve-mp.cz/eshop/p/solarni-panel-jinko-275-wp-0-5>
- [49] PylonTech US2000B Plus - 2,4kWh. David Štíčka - Fotovoltaické systémy [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <http://www.sticka.cz/kategorie/baterie/baterie-lifepo4/pylontech-us2000b-plus-2-4kwh/>
- [50] Měnič Fronius Primo 4.6-1 4600VA 20A. Ecoproduct [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: https://www.ecoproduct.cz/solarni.panely/sitove.menice/1.fazove/menic.fronius.primo.4.6.1.4600va.20a?gclid=CjwKCAjw5Ij2BRBdEiwA0Frc9SjNQ3waLzgVZpUX-8dASivD5g8OP_D98ga2eF_zgEcjZgtfpZjE_hoCOxwQAvD_BwE
- [51] Baterie Pylontech US2000 - 2,4kWh [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.solidpower.cz/baterie-pylontech-us2000-2-4kwh-p294/>
- [52] Brochure Why choose Fronius [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: https://www.fronius.com/~/_downloads/Solar%20Energy/Brochures/SE_BRO_Why_Fronius_EN.pdf
- [53] Životnost fyzických baterií. Je nutné je vyměňovat po několika letech? Elektrina [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/zivotnost-fyzickych-baterii>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

Symboly:

η	Účinnost solárního článku.
η_n	Jmenovitá účinnost solárního článku.
P_{MPP}	Bod maximálního výkonu.
I_{MPP}	Bod maximálního proudu.
A	Plocha solárního článku.
e	Sluneční ozáření.
ΔE_g	Šířka zakázaného pásu.

Zkratky:

FV	Fotovoltaika.
FVE	Fotovoltaická elektrárna.
HFVE	Hybridní fotovoltaická elektrárna.
ZDP	Zákon o daních z příjmů.
OSVČ	Osoba samostatně výdělečně činná.
PWM	Pulse Width Modulation, Pulzně šířková modulace.
MPPT	Maximum Power Point Tracker, Schopnost měniče sledovat bod maximálního výkonu FV panelu.
TCO	Transparent conducting film, Vodivá a průhledná vrstva oxidu kovu.
MF	Maintenance Free, Bezúdržbový.
AGM	Absorbed Glass Mat, Typ olověného akumulátoru se zasáknutým elektrolytem do mikroporézní skelné tkaniny.
VRLA	Valve Regulated Lead Acid, Ventilem řízené olověné akumulátory.
DOD	Depth of discharge, Hloubka vybití.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Mapa trvání slunečního svitu v ČR, převzato z [16].	2
Obr. 1.2: Roční souhrn globálního slunečního záření v ČR [kWh/m ²], převzato z [16].	2
Obr. 1.3: Přímé a difuzní záření v podmínkách ČR, převzato z [4].	3
Obr. 2.1: FV jev - přechod P-N, převzato z [3].	4
Obr. 2.2: Princip tlustovrstvého FV článku, převzato z [8].	6
Obr. 2.3: Struktura tenkovrstvých článků, převzato z [40].	7

Obr. 2.4: Struktura vrstev amorfního třívrstvého článku, převzato z [1].	8
Obr. 2.5: Struktura mikromorfního vícevrstvého článku, převzato z [41].	9
Obr. 2.6: Tenkovrstvý FV panel CIGS druhé generace, převzato z [10].	10
Obr. 2.7: Struktura tenkovrstvého FV panelu CIGS druhé generace, převzato z [10].	10
Obr. 2.8: Složení FV panelu, převzato z [12].	12
Obr. 2.9: Voltampérová charakteristika FV panelu, převzato z [13].	13
Obr. 2.10: Průměrná výroba FV systému 1kWp v podmínkách ČR, převzato z [38].	14
Obr. 3.1: Princip funkce lithiových akumulátorů, převzato z [18].	15
Obr. 3.2: Struktura lithiového akumulátoru, převzato z [18].	16
Obr. 4.1: Schéma autonomního FV systému, převzato z [3].	20
Obr. 4.2: Schéma FV systému spojeného se sítí, převzato z [3].	21
Obr. 4.3: Hybridní fotovoltaický systém, převzato z [43].	22
Obr. 6.1: Příklad vytvořeného 3D modelu v programu PV*SOL	30
Obr. 6.2: Výstup z programu PV*SOL – Schéma zapojení FV systému	30
Obr. 6.3: Výstup z programu PV*SOL – Výkon FVE v jednotlivých měsících	31
Obr. 6.4: Výstup z programu PV*SOL – Výdělek v jednotlivých letech	31
Obr. 6.5: Výstup z programu PV*SOL – Graf toku energie [kWh]	31
Obr. 7.1: Zátěžový profil domácnosti za období jednoho roku	32
Obr. 7.2: Roční produkce FVE vypočtena programem PV*SOL	33
Obr. 7.3: Vytvořený model rodinného domu v programu SketchUp	34
Obr. 7.4: Finální 3D model vložený do pracovní plochy programu PV*SOL	34
Obr. 7.5: Simulace zastínění během jednoho roku	35
Obr. 7.6: Optimální střídače vybrané programem PV*SOL	36
Obr. 7.7: Zapojení FV panelů	36
Obr. 7.8: Záložka pro výběr akumulátoru	37
Obr. 7.9: Funkce pro určení průřezu vodiče	38
Obr. 7.10: Záložka příjmy a výdaje ve finanční analýze	39
Obr. 7.11: Zadání životnosti jednotlivých komponent FVE	40
Obr. 7.12: Nejhorší varianta, životnost střídače 7 let, akumulátoru 10 let	40
Obr. 7.13: Nejlepší varianta, životnost střídače 10 let, akumulátoru 20 let	41
Obr. 7.14: Střední varianta, životnost střídače 10 let, akumulátoru 15 let	42
Obr. 7.15: Výroba elektřiny z FVE během roku	43
Obr. 7.16: Výsledky analýzy pokrytí spotřeby v domácnosti	43
Obr. 7.17: Zobrazení energetického toku	44

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1: PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE	54
PŘÍLOHA 2: KATALOGOVÝ LIST AKUMULÁTORU	80
PŘÍLOHA 3: KATALOGOVÝ LIST STRÍDAČE	81
PŘÍLOHA 4: KATALOGOVÝ LIST FV PANELŮ	82

PŘÍLOHA 1: PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE

Přehled projektu



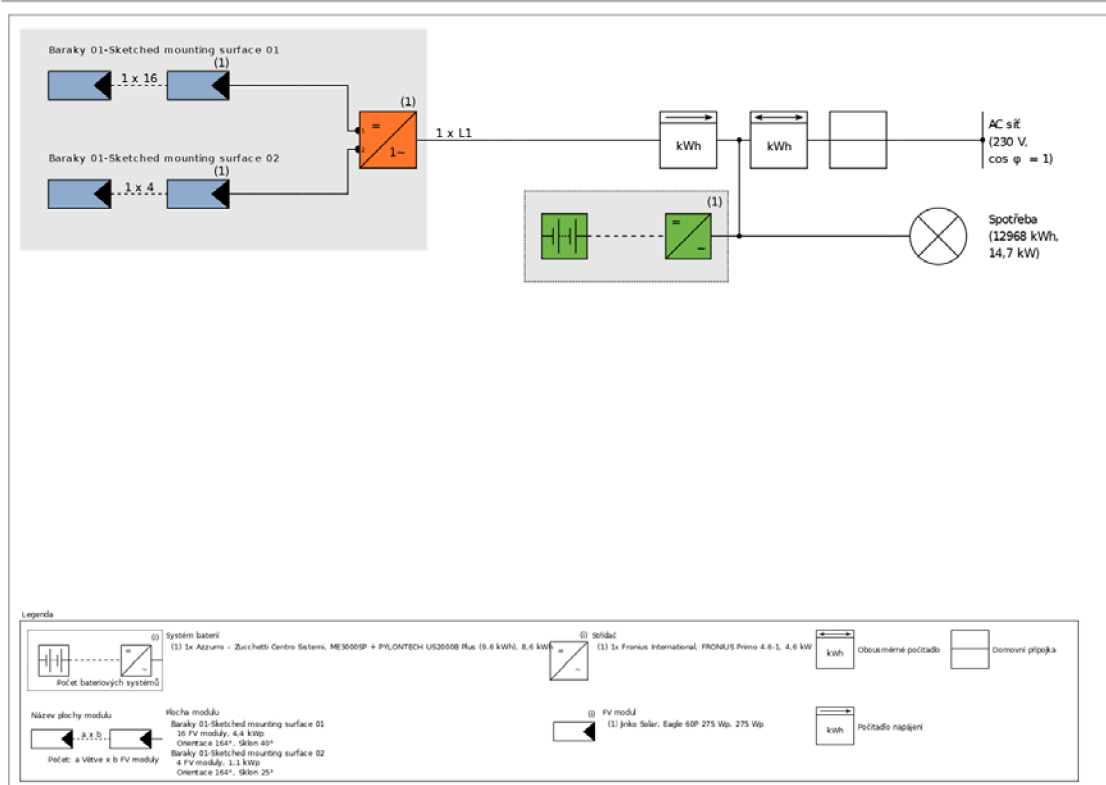
Obrázek: Obrazový přehled, 3D design

FV zařízení

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

Klimatická data	Hradčovice, CZE (1991 - 2010)	
Výkon FV generátoru		5,5 kWp
Povrch FV generátoru		32,8 m ²
Počet FV modulů		20
Počet měničů		1
Počet bateriových systémů		1

Zákazník: Roman Řihák



Obrázek: Schéma zapojení

Výnos

Výnos

Energie FV generátoru (AC síť)	6 288 kWh
Přímá vlastní spotřeba	2 709 kWh
Kapacita baterie	2 075 kWh
Síťové napájení	1 504 kWh
Deregulace na napájecí bodu	0 kWh
Podíl vlastní spotřeby	76,1 %
Stupeň soběstačnosti	34,8 %
Spec. Roční výnos	1 143,19 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	88,6 %
Snížení výnosu zastíněním	0,5 %/Rok
Snížení emisí CO ₂	2 826 kg/rok

Finanční analýza

Váš zisk

Celkové investiční náklady	262 314,00 Kč
Celková kapitálová rendita	4,36 %
Doba amortizace	13,6 Roky
Vlastní výrobní náklady elektrické energie	2,13 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	9.2.2020

Klimatická data

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

Spotřeba

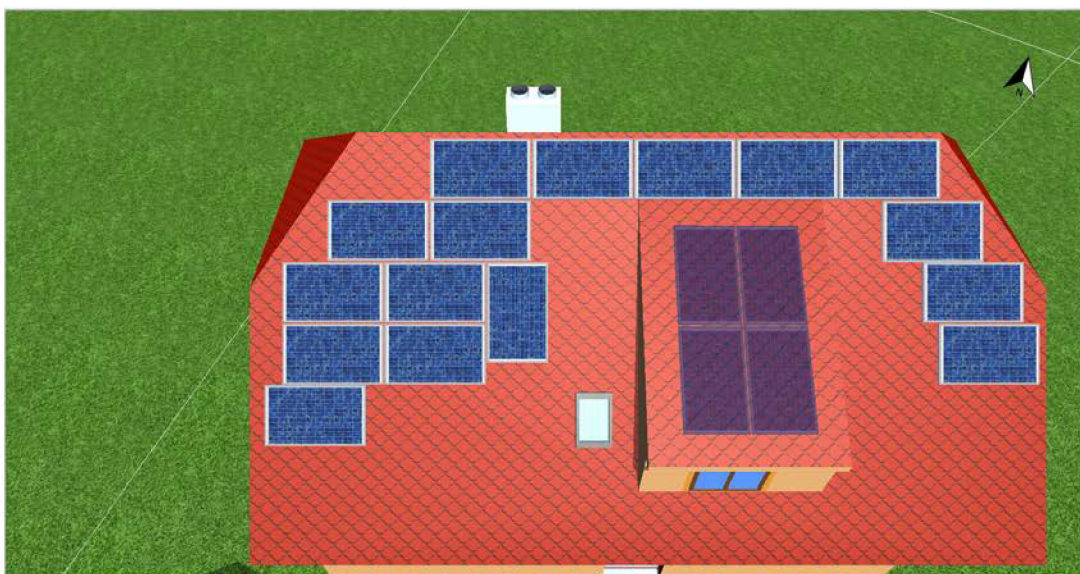
Celková spotřeba	12968 kWh
Dům	8000 kWh
Elektrokotel	4968 kWh
Špičkové zatížení	14,7 kW

Plochy modulů

1. Plocha modulu - Baraky 01-Sketched mounting surface 01

FV generátor, 1. Plocha modulu - Baraky 01-Sketched mounting surface 01

Jméno	Baraky 01-Sketched mounting surface 01
FV moduly	16 x Eagle 60P 275 Wp (v1)
Výrobce	Jinko Solar
Sklon	40 °
Orientace	Jih 164 °
Situace při vestavbě	Souběžně se střechou – dobře větráno zezadu
Povrch FV generátoru	26,3 m ²

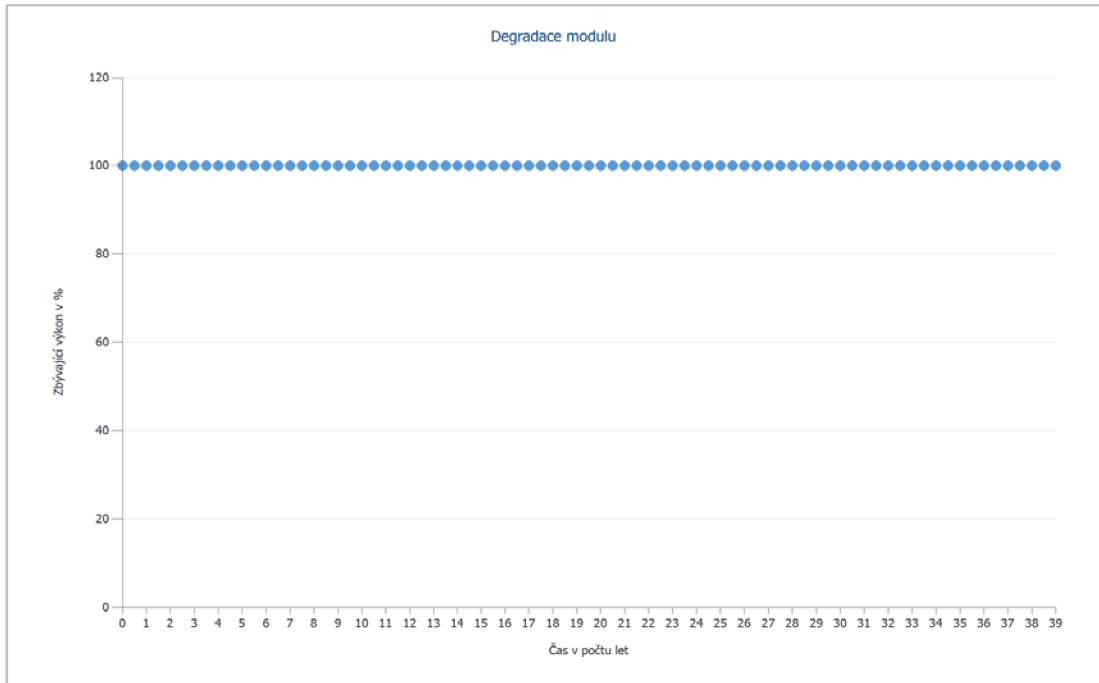


Obrázek: 1. Plocha modulu - Baraky 01-Sketched mounting surface 01

Degradace modulu, 1. Plocha modulu - Baraky 01-Sketched mounting surface 01

Zbývající výkon po 20 letech

100 %



Obrázek: Degradace modulu, 1. Plocha modulu - Baraky 01-Sketched mounting surface 01

2. Plocha modulu - Baraky 01-Sketched mounting surface 02

FV generátor, 2. Plocha modulu - Baraky 01-Sketched mounting surface 02

Jméno	Baraky 01-Sketched mounting surface 02
FV moduly	4 x Eagle 60P 275 Wp (v1)
Výrobce	Jinko Solar
Sklon	25 °
Orientace	Jih 164 °
Situace při vestavbě	Souběžně se střechou – dobře větráno zezadu
Povrch FV generátoru	6,6 m ²

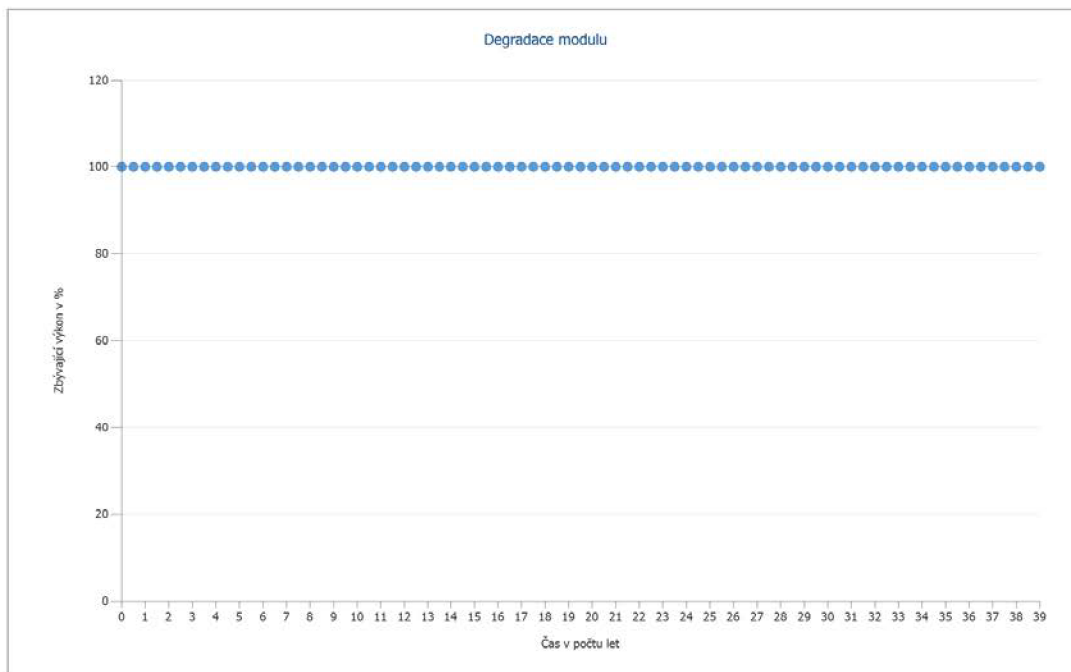


Obrázek: 2. Plocha modulu - Baraky 01-Sketched mounting surface 02

Degradace modulu, 2. Plocha modulu - Baraky 01-Sketched mounting surface 02

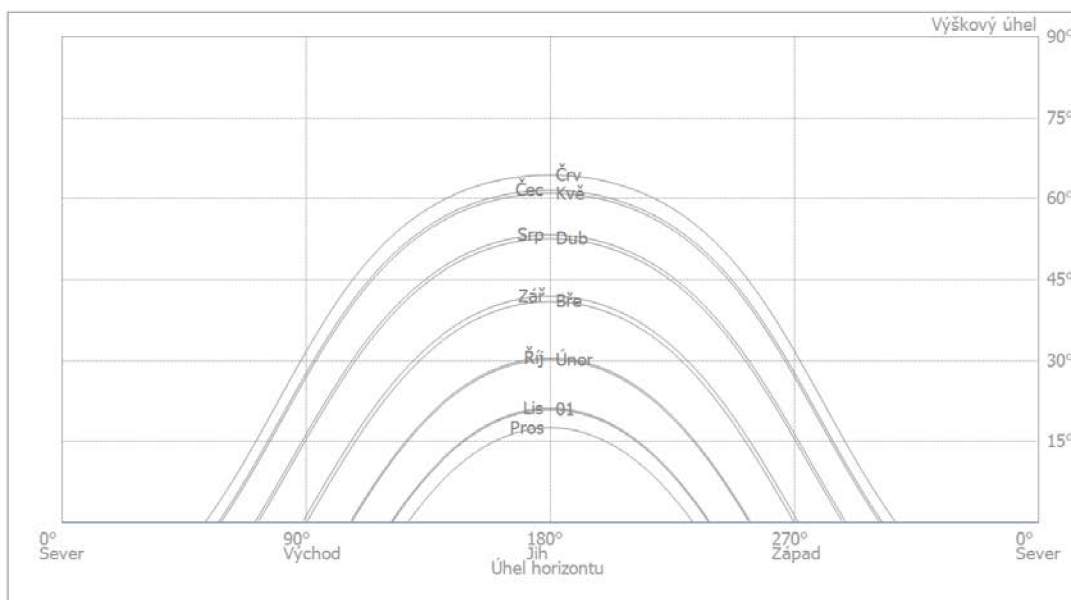
Zbývající výkon po 20 letech

100 %



Obrázek: Degradace modulu, 2. Plocha modulu - Baraky 01-Sketched mounting surface 02

Linie horizontu, 3D design



Obrázek: Horizont (3D design)

Konfigurace měniče

Propojení 1

Plochy modulů	Baraky 01-Sketched mounting surface 01 + Baraky 01-Sketched mounting surface 02
Střídač 1	
Model	FRONIUS Primo 4.6-1 (v1)
Výrobce	Fronius International
Počet	1
Faktor definování vlastností	119,6 %
Propojení	MPP 1: 1 x 16 MPP 2: 1 x 4

AC síť

AC síť

Počet fází	3
Síťové napětí (jednofázové)	230 V
Koeficient elektrické indukce (cos phi)	+/- 1

Bateriové systémy

Systém baterií

Model	ME3000SP + PYLONTECH US2000B Plus (9.6 kWh) (v1)
Výrobce	Azzurro – Zucchetti Centro Sistemi
Počet	1
Měníč baterie	
Typ připojení	AC připojení
Jmenovitý výkon	3 kW
Baterie	
Výrobce	Pylon Technologies Co., Ltd.
Model	US2000B Plus (v1)
Počet	4
Energie baterie	8,6 kWh
Typ akumulátoru	Lithiumiontové - Lithium-železo-fosfát

Výsledky simulace

Výsledky Celkové zařízení

FV zařízení

Výkon FV generátoru	5,5 kWp
Spec. Roční výnos	1 143,19 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	88,6 %
Snížení výnosu zastíněním	0,5 %/Rok
Energie FV generátoru (AC síť)	6 288 kWh/Rok
Přímá vlastní spotřeba	2 709 kWh/Rok
Síťové napájení	1 504 kWh/Rok
Deregulace na napájecí bodu	0 kWh/Rok
Kapacita baterie	2 075 kWh/Rok
Podíl vlastní spotřeby	76,1 %
Snížení emisí CO ₂	2 826 kg/rok

Spotřebič

Spotřebič	12 968 kWh/Rok
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	13 kWh/Rok
Celková spotřeba	12 981 kWh/Rok
pokryto FV	2 709 kWh/Rok
pokryto sítí	8 464 kWh/Rok
pokryto baterií netto	1 809 kWh/Rok

Systém baterií

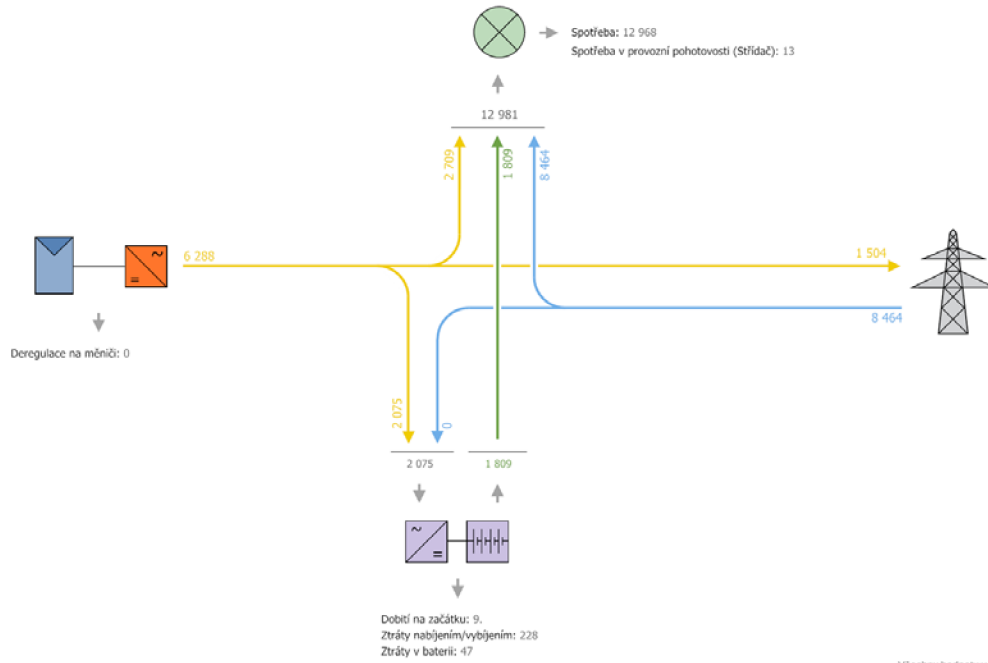
Dobití na začátku	9 kWh
Kapacita baterie (Celkem)	2 075 kWh/Rok
Kapacita baterie (FV zařízení)	2 075 kWh/Rok
Kapacita baterie (Síť)	0 kWh/Rok
Energie baterie k pokrytí spotřeby	1 809 kWh/Rok
Ztráty nabíjením/vybíjením	228 kWh/Rok
Ztráty v baterii	47 kWh/Rok
Cyklické zatížení	4,8 %
Životnost	>20 Roky

Stupeň soběstačnosti

Celková spotřeba	12 981 kWh/Rok
pokryto sítí	8 464 kWh/Rok
Stupeň soběstačnosti	34,8 %

Tok energie grafika

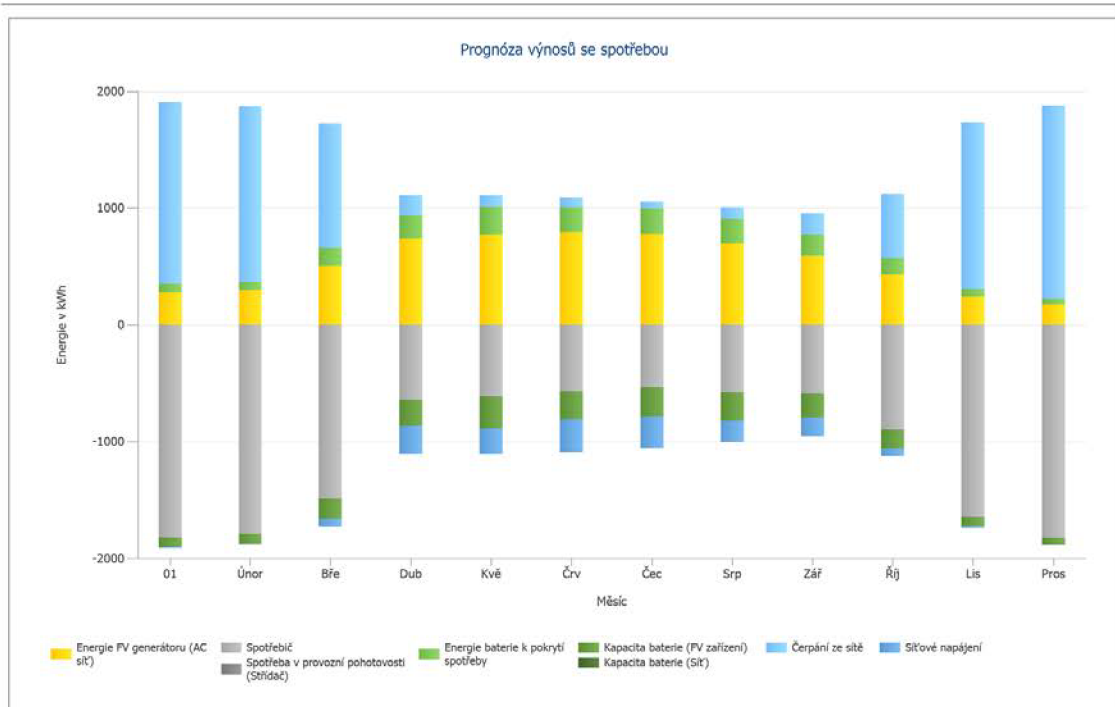
Projekt: FVE_bakalářská práce



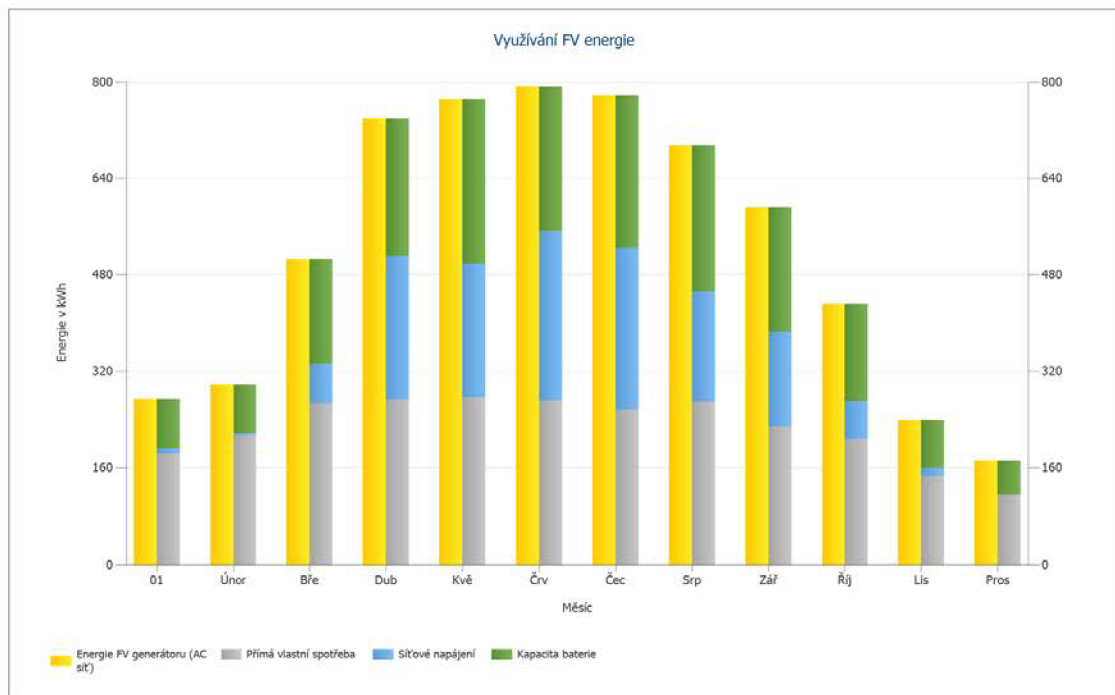
Všechny hodnoty v kWh
Výsledkem k zákazníkovi mohou být různé malé odchylky v součtech
created with PV*SOL

Obrázek: Tok energie grafika

Zákazník: Roman Řihák

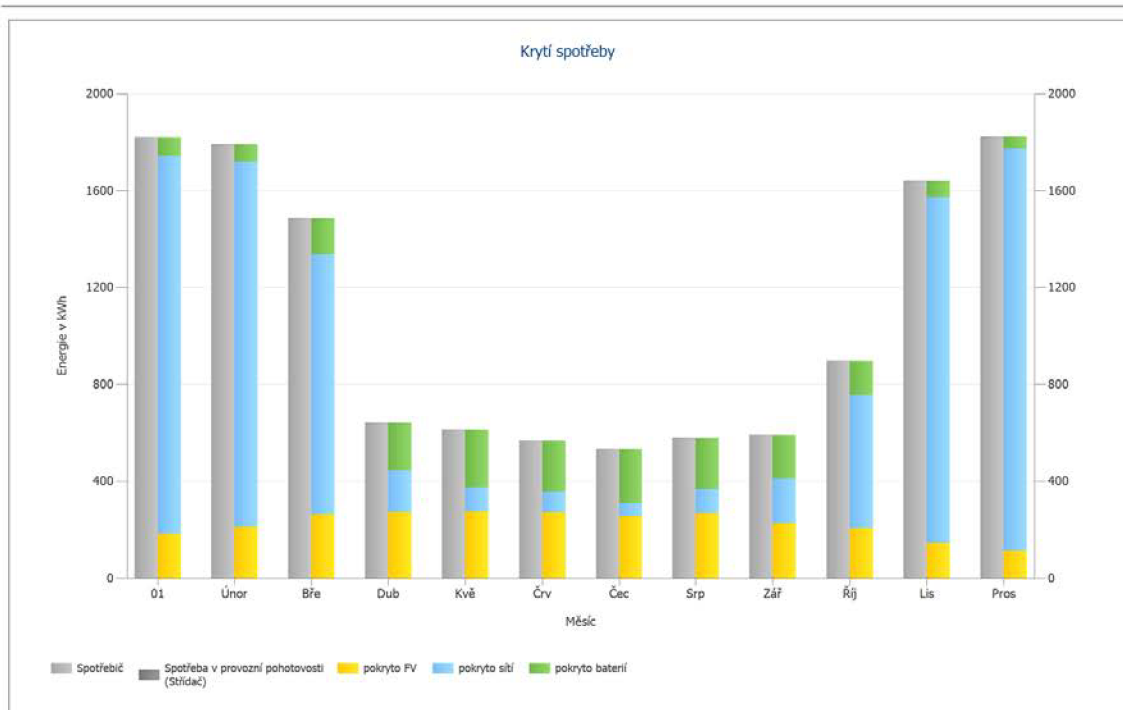


Obrázek: Prognóza výnosů se spotřebou

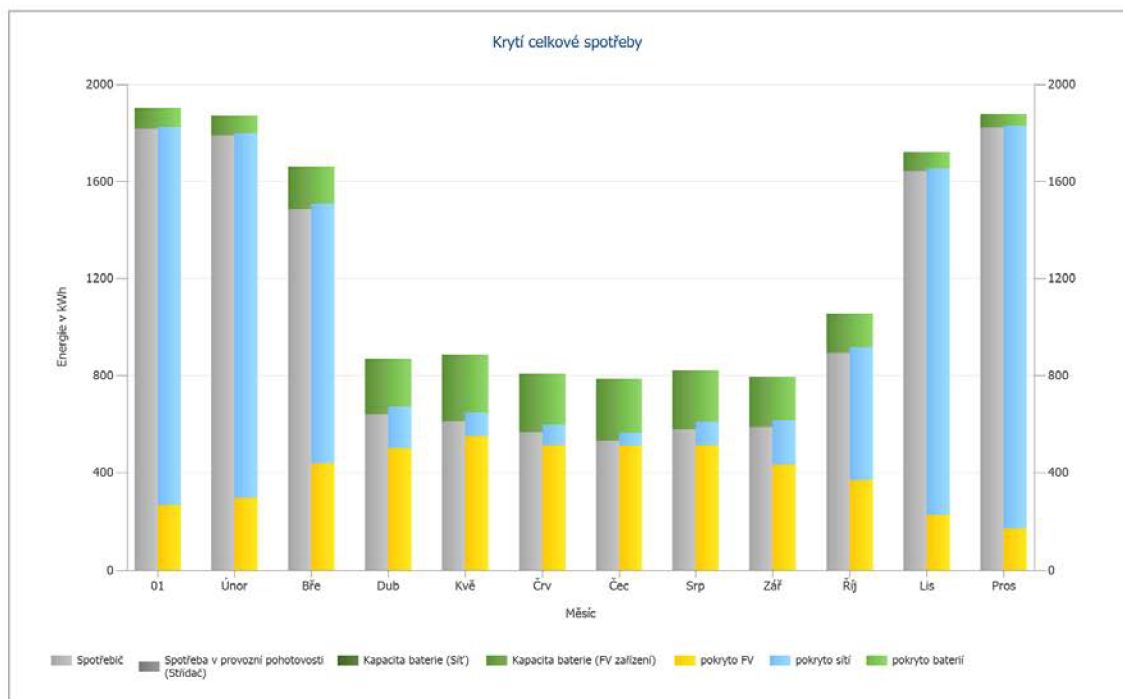


Obrázek: Využívání FV energie

Zákazník: Roman Řihák



Obrázek: Krytí spotřeby



Obrázek: Krytí celkové spotřeby

Výsledky na plochu modulu

Energetická bilance FV zařízení

Energetická bilance FV zařízení

Globální záření horizontální	1 158,64 kWh/m²	
Odchylka od standardního spektra	-11,59 kWh/m ²	-1,00 %
Odraz od země (albedo)	23,62 kWh/m ²	2,06 %
Vyrovnaní a sklon úrovně modulu	117,15 kWh/m ²	10,01 %
Odstínění podle modulu	0,00 kWh/m ²	0,00 %
Odraz na povrchu modulu	-22,81 kWh/m ²	-1,77 %
Globální záření na modul	1 265,01 kWh/m²	
	1 265,01 kWh/m ²	
	x 32,835 m ²	
	= 41 536,48 kWh	
FV globální záření	41 536,48 kWh	
Znečištění	0,00 kWh	0,00 %
STC konverze (stupeň jmenovitého výkonu modulu 16,78 %)	-34 565,79 kWh	-83,22 %
FV jmenovitá energie	6 970,69 kWh	
Odstínění dílů specifické pro modul	-24,48 kWh	-0,35 %
Chování ve slabém světle	-49,64 kWh	-0,71 %
Odchylka od jmenovité teploty modulu	-183,69 kWh	-2,66 %
Diody	-2,25 kWh	-0,03 %
Nesrovnalost (údaje výrobce)	-134,21 kWh	-2,00 %
Nesrovnalost (zapojení/odstínění)	-4,91 kWh	-0,07 %
Kabel propojení do série	-21,74 kWh	-0,33 %
FV energie (DC) bez sestupné regulace měničem	6 549,78 kWh	
Pokles pod výchozí výkon DC	-3,95 kWh	-0,06 %
Sestupná regulace z důvodu napěťového rozsahu MPP	-0,19 kWh	0,00 %
Sestupná regulace z důvodu max. DC proudu	0,00 kWh	0,00 %
Sestupná regulace z důvodu max. DC výkonu	0,00 kWh	0,00 %
Sestupná regulace z důvodu max. AC výkonu/cos phi	-8,86 kWh	-0,14 %
Přizpůsobení MPP	-0,35 kWh	-0,01 %
FV energie (DC)	6 536,43 kWh	
Energie na vstupu WR	6 536,43 kWh	
Odchylka vstupního od jmenovitého napětí	-75,26 kWh	-1,15 %
DC/AC převod	-169,14 kWh	-2,62 %
Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač)	-13,49 kWh	-0,21 %
AC vedení	-4,49 kWh	-0,07 %
FV energie (AC) bez pohotovostní spotřeby	6 274,05 kWh	
Energie FV generátoru (AC síť)	6 287,54 kWh	

Analýza hospodárnosti

Přehled

Data zařízení

Síťové napájení v prvním roce (včetně degradace modulů)	1 504 kWh/Rok
Výkon FV generátoru	5,5 kWp
Uvedení zařízení do provozu	9.2.2020
Sledované období	39 Roky
Úroky kapitálu	1 %

Hospodářské ukazatele

Celková kapitálová rendita	4,36 %
Kumulovaný finanční tok	147 000,80 Kč
Doba amortizace	13,6 Roky
Vlastní výrobní náklady elektrické energie	2,13 Kč/kWh

Přehled plateb

specifické investiční náklady	47 693,45 Kč/kWp
Investiční náklady	262 314,00 Kč
panely	60 000,00 Kč
akumulátor	104 544,00 Kč
stridac	37 770,00 Kč
konstrukce	60 000,00 Kč
Jednorázové platby	0,00 Kč
Podpory	131 157,00 Kč
Roční náklady	0,00 Kč/Rok
Ostatní výnosy nebo úspory	0,00 Kč/Rok

Odměna za úspory

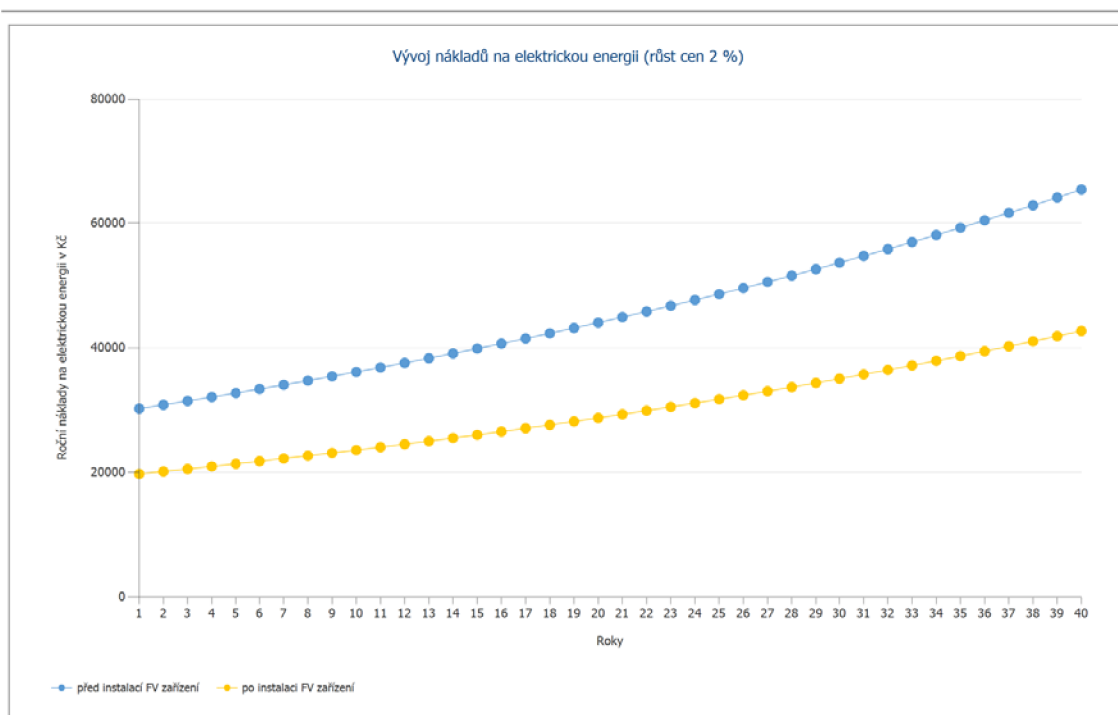
Celkové odměny v prvním roce	1 146,93 Kč/Rok
Úspory v prvním roce	10 494,53 Kč/Rok

PohodaStyl_Přímotop_D45d - Building System

Platnost	18.4.2020 - 17.4.2060
Specifická odměna za napájení	0,8 Kč/kWh
Úhrada za nabíjení	1 202,88 Kč/Rok

PohodaStyl_Přímotop_D45d_2,33 (Copy) (Example)

Cena práce	2,33 Kč/kWh
Základní cena	580,00 Kč/Měsíc
Koeficient změny cen – cena práce	2 %/Rok



Obrázek: Vývoj nákladů na elektrickou energii (růst cen 2 %)

Cash flow

Tabulka peněžních toků

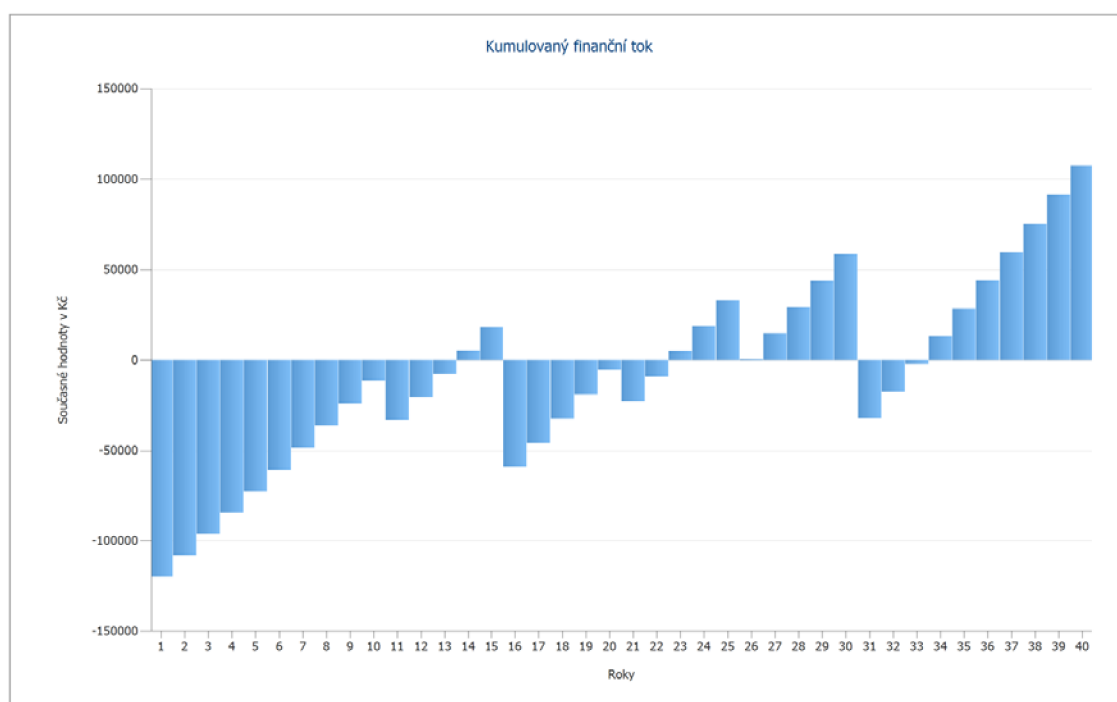
	Rok 1	Rok 2	Rok 3	Rok 4	Rok 5
Investice	-262 314,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	131 157,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	1 135,58 Kč	1 179,18 Kč	1 167,51 Kč	1 155,95 Kč	1 144,50 Kč
Úspory při odběru proudu	10 225,46 Kč	10 493,50 Kč	10 597,40 Kč	10 702,32 Kč	10 808,29 Kč
Roční finanční tok	-119 795,96 Kč	11 672,69 Kč	11 764,91 Kč	11 858,27 Kč	11 952,79 Kč
Kumulovaný finanční tok	-119 795,96 Kč	-108 123,28 Kč	-96 358,37 Kč	-84 500,10 Kč	-72 547,31 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
Podpory	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	1 133,17 Kč	1 121,95 Kč	1 110,84 Kč	1 099,85 Kč	1 088,96 Kč
Úspory při odběru proudu	10 915,30 Kč	11 023,37 Kč	11 132,52 Kč	11 242,73 Kč	11 354,06 Kč
Roční finanční tok	12 048,47 Kč	12 145,32 Kč	12 243,36 Kč	12 342,58 Kč	12 443,01 Kč
Kumulovaný finanční tok	-60 498,83 Kč	-48 353,51 Kč	-36 110,15 Kč	-23 767,57 Kč	-11 324,55 Kč
	Rok 11	Rok 12	Rok 13	Rok 14	Rok 15
Investice	-34 192,69 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	1 078,17 Kč	1 067,50 Kč	1 056,93 Kč	1 046,47 Kč	1 036,10 Kč
Úspory při odběru proudu	11 466,47 Kč	11 580,00 Kč	11 694,65 Kč	11 810,44 Kč	11 927,38 Kč
Roční finanční tok	-21 648,05 Kč	12 647,49 Kč	12 751,58 Kč	12 856,91 Kč	12 963,48 Kč
Kumulovaný finanční tok	-32 972,60 Kč	-20 325,11 Kč	-7 573,52 Kč	5 283,38 Kč	18 246,87 Kč
	Rok 16	Rok 17	Rok 18	Rok 19	Rok 20
Investice	-90 048,92 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	1 025,85 Kč	1 015,69 Kč	1 005,63 Kč	995,68 Kč	985,82 Kč
Úspory při odběru proudu	12 045,47 Kč	12 164,73 Kč	12 285,17 Kč	12 406,81 Kč	12 529,65 Kč
Roční finanční tok	-76 977,61 Kč	13 180,42 Kč	13 290,80 Kč	13 402,48 Kč	13 515,46 Kč
Kumulovaný finanční tok	-58 730,74 Kč	-45 550,32 Kč	-32 259,52 Kč	-18 857,03 Kč	-5 341,57 Kč
	Rok 21	Rok 22	Rok 23	Rok 24	Rok 25
Investice	-30 954,19 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	976,06 Kč	966,39 Kč	956,82 Kč	947,35 Kč	937,97 Kč
Úspory při odběru proudu	12 653,70 Kč	12 778,99 Kč	12 905,52 Kč	13 033,29 Kč	13 162,33 Kč
Roční finanční tok	-17 324,44 Kč	13 745,38 Kč	13 862,34 Kč	13 980,64 Kč	14 100,30 Kč
Kumulovaný finanční tok	-22 666,01 Kč	-8 920,63 Kč	4 941,71 Kč	18 922,35 Kč	33 022,66 Kč
	Rok 26	Rok 27	Rok 28	Rok 29	Rok 30
Investice	-46 786,11 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	928,68 Kč	919,49 Kč	910,39 Kč	901,37 Kč	892,45 Kč
Úspory při odběru proudu	13 292,65 Kč	13 424,26 Kč	13 557,17 Kč	13 691,41 Kč	13 826,97 Kč
Roční finanční tok	-32 564,77 Kč	14 343,75 Kč	14 467,56 Kč	14 592,78 Kč	14 719,42 Kč
Kumulovaný finanční tok	457,89 Kč	14 801,64 Kč	29 269,20 Kč	43 861,98 Kč	58 581,39 Kč
	Rok 31	Rok 32	Rok 33	Rok 34	Rok 35
Investice	-105 586,02 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	883,61 Kč	874,86 Kč	866,20 Kč	857,62 Kč	849,13 Kč

Zákazník: Roman Řihák

Úspory při odběru proudu	13 963,87 Kč	14 102,12 Kč	14 241,75 Kč	14 382,75 Kč	14 525,16 Kč
Roční finanční tok	-90 738,54 Kč	14 976,99 Kč	15 107,95 Kč	15 240,38 Kč	15 374,29 Kč
Kumulovaný finanční tok	-32 157,15 Kč	-17 180,16 Kč	-2 072,21 Kč	13 168,17 Kč	28 542,46 Kč

	Rok 36	Rok 37	Rok 38	Rok 39	Rok 40
Investice	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	840,73 Kč	832,40 Kč	824,16 Kč	816,00 Kč	807,92 Kč
Úspory při odběru proudu	14 668,97 Kč	14 814,21 Kč	14 960,88 Kč	15 109,01 Kč	15 258,61 Kč
Roční finanční tok	15 509,70 Kč	15 646,61 Kč	15 785,04 Kč	15 925,01 Kč	16 066,53 Kč
Kumulovaný finanční tok	44 052,16 Kč	59 698,77 Kč	75 483,81 Kč	91 408,82 Kč	107 475,35 Kč

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



Obrázek: Kumulovaný finanční tok

Katalogové listy

Katalogový list FV modulu

FV modul: Eagle 60P 275 Wp (v1)

Výrobce	Jinko Solar
Možno dodat	Ano

Elektrické údaje

Typ buňky	polykrystalický Si
Pouze vhodný transformátor-měnič	Ne
Počet buněk	60
Počet obtokových diod	3
Half-cell module	Ne

Mechanické údaje

Šířka	995 mm
Výška	1650 mm
Hloubka	35 mm
Šířka rámu	30 mm
Hmotnost	19 kg

U/I charakteristiky při STC

Napětí v MPP	32 V
Proud v MPP	8,61 A
Jmenovitý výkon	275 W
Stupeň účinnosti	16,78 %
Volnoběžné napětí	39,1 V
Zkratový proud	9,15 A
Faktor naplnění	77,01 %
Zvýšení volnoběžného napětí před stabilizací	0 %

Díličí charakteristiky zátěže U/I

Zdroj hodnot	Výrobce/vlastní
Ozařování	200 W/m ²
Napětí v MPP při díličí zátěži	31,3 V
Proud v MPP při díličí zátěži	1,74 A
Volnoběžné napětí při díličím zatížení	36,6 V
Zkratový proud při díličím zatížení	1,83 A

Další

Napěťový koeficient	-121,21 mV/K
Proudový koeficient	5,49 mA/K
Koeficient výkonu	-0,4 %/K
Faktor korekce úhlu	98 %
Maximální systémové napětí	1000 V

Katalogový list měniče

Střídač: FRONIUS Primo 4.6-1 (v1)

Výrobce	Fronius International
Možno dodat	Ano
Elektrické údaje	
Jmenovitý výkon DC	4,7 kW
Jmenovitý výkon AC	4,6 kW
Max. výkon DC	4,79 kW
Max. výkon AC	4,6 kVA
Spotřeba v provozní pohotovosti	10 W
Noční spotřeba	0,6 W
Min. Výkon pro dodávku do sítě	30 W
Max. vstupní proud	36 A
Max. vstupní napětí	1000 V
Jmenovité napětí DC	700 V
Počet fází	1
Počet DC vstupů	4
S transformátorem	Ne
Změna stupně účinnosti při odchylce vstupního napětí od jmenovitého napětí	0,54 %/100V
MPP Tracker	
Rozsah výkonu < 20 % jmenovitého napětí	99,9 %
Rozsah výkonu > 20 % jmenovitého napětí	100 %
Počet MPP Tracker	2
Max. vstupní proud	12 A
Max. Příkon	4,71 kW
Min. napětí MPP	80 V
Max. napětí MPP	800 V

Katalogový list bateriového systému

Systém baterií: ME3000SP + PYLONTECH US2000B Plus (9.6 kWh) (v1)

Výrobce	Azzurro – Zucchetti Centro Sistemi
Jmenovitý výkon	3 kW
Maximální výkon nabití	3 kW
Maximální vybíjecí výkon	3 kW
Baterie	4 x US2000B Plus (v1)
Výrobce baterie	Pylon Technologies Co., Ltd.
Kapacita	50 Ah
Systémové napětí baterie DC	48,0 V



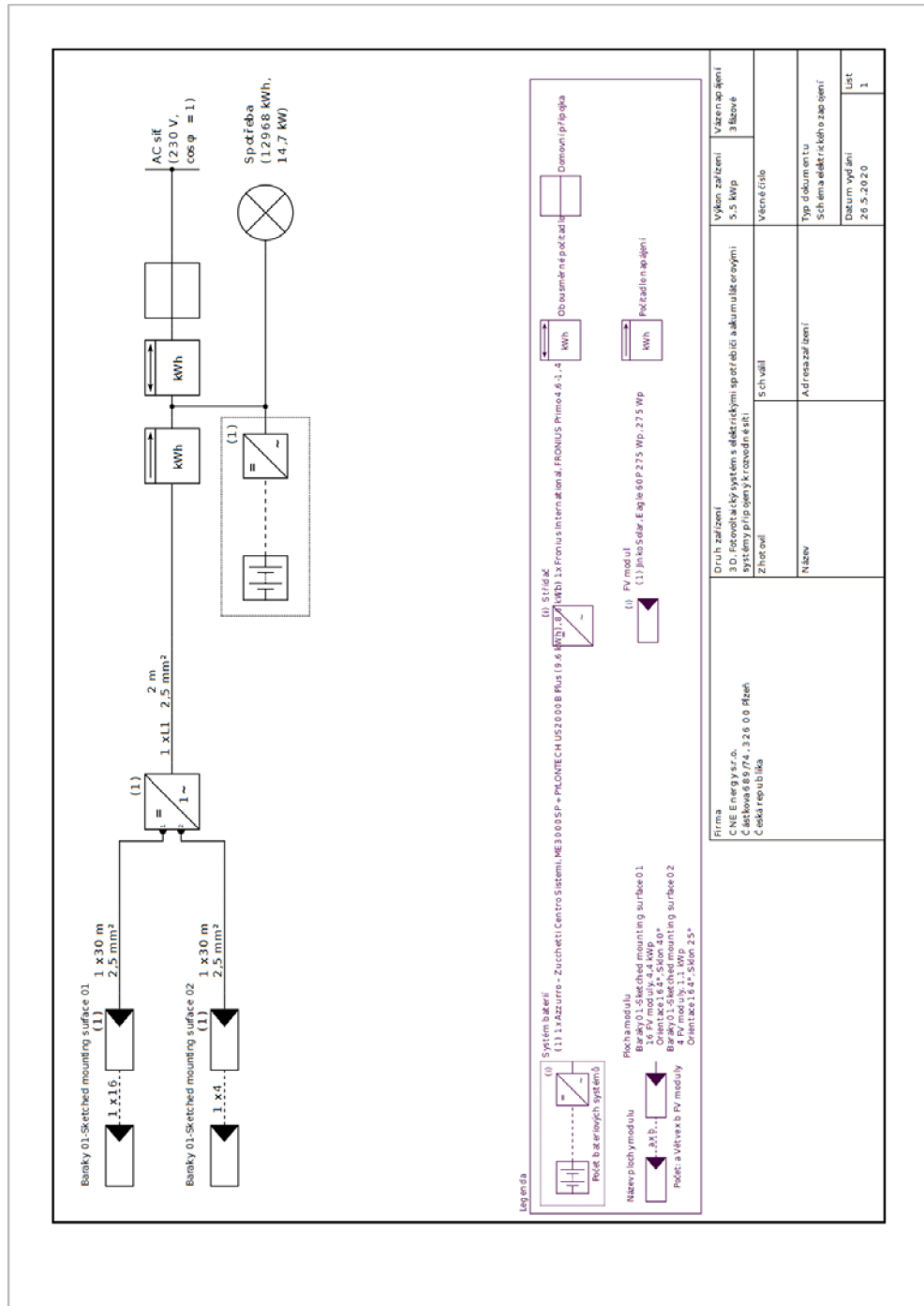
Katalogový list baterie

Baterie: US2000B Plus (v1)

Výrobce	Pylon Technologies Co., Ltd.
Možno dodat	Ano
Mechanické údaje	
Délka	89 mm
Šířka	440 mm
Výška	410 mm
Hmotnost	24 kg
Elektrické údaje	
Samočinné vybíjení	3 %/Měsíc
Počet buněk v řadě	15
Jmenovité napětí	48 V
Vnitřní odpor	9,6 mΩ
Životnost v cyklech nabíjení/vybíjení (DoD = 40 %)	15100
Typ	
Typ akumulátoru	Lithiumiontové - Lithium-železo-fosfát

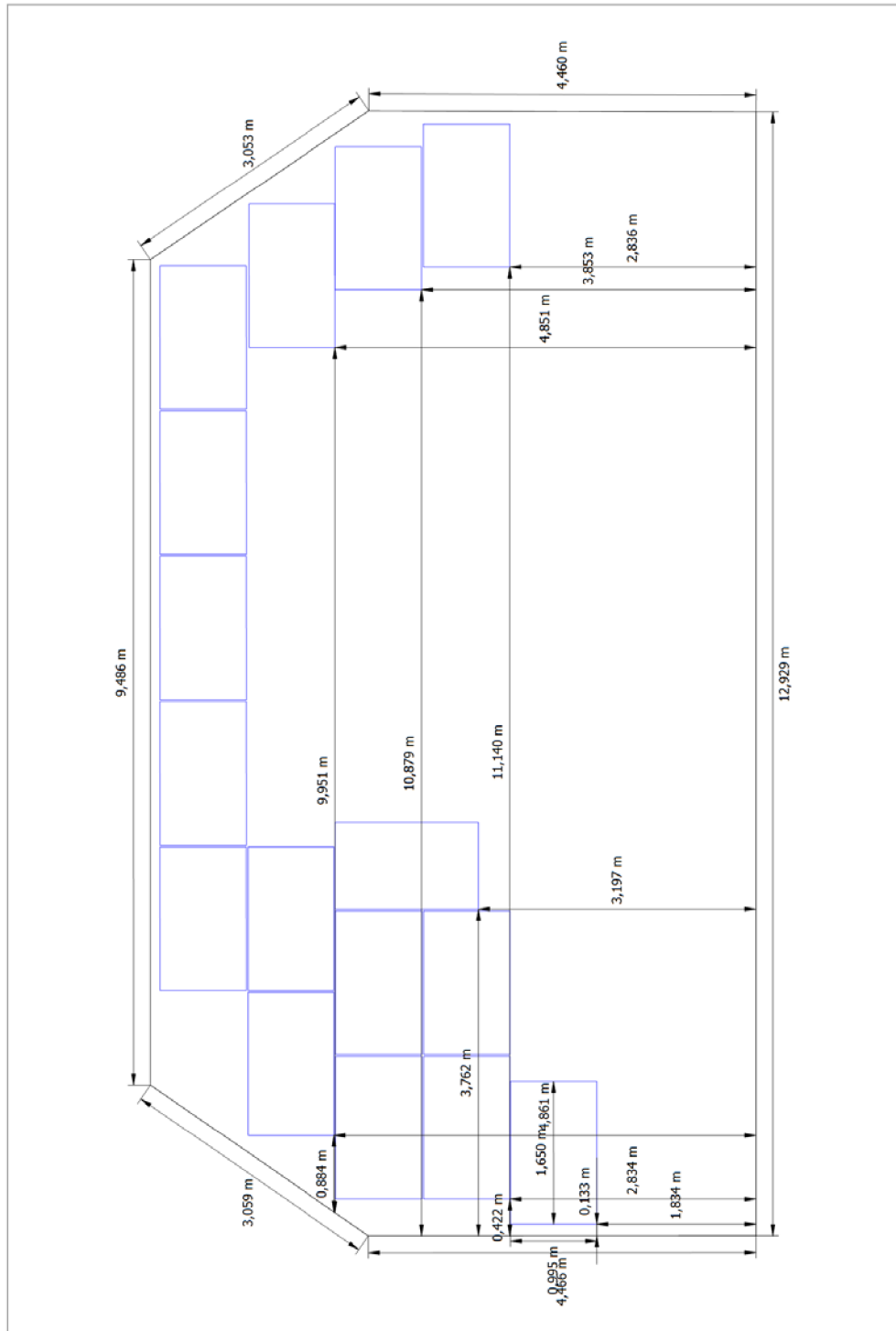
Výkresy a kusovníky

Schéma elektrického zapojení

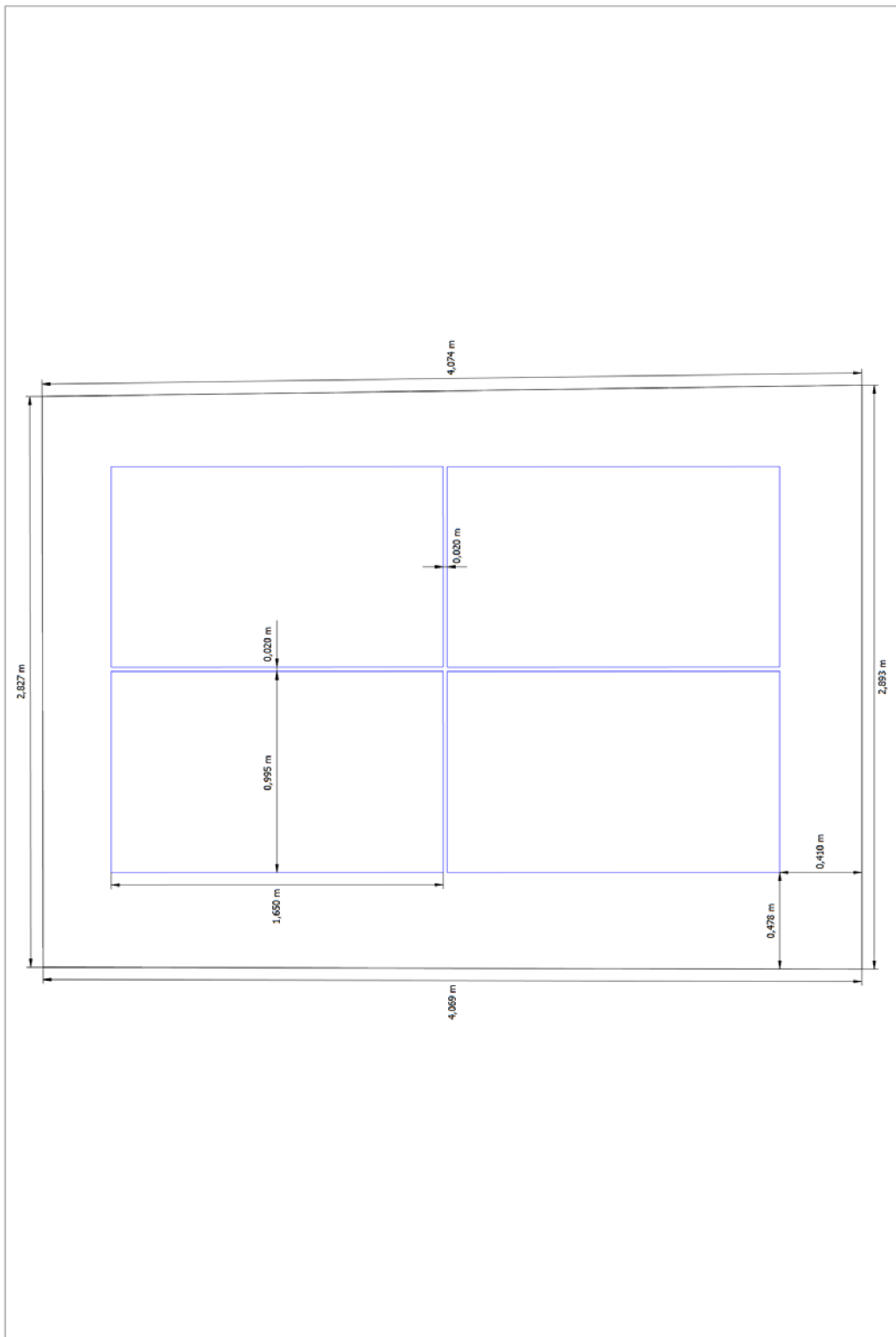


Obrázek: Schéma elektrického zapojení

Rozměrový výkres



Obrázek: Baraky 01-Sketched mounting surface 01



Obrázek: Baraky 01-Sketched mounting surface 02

Kusovník

Kusovník

#	Typ	Číslo položky	Výrobce	Jméno	Množství	Jednotka
1	FV modul		Jinko Solar	Eagle 60P 275 Wp	20	Kus
2	Střídač		Fronius International	FRONIUS Primo 4.6-1	1	Kus
3	Systém baterií		Azzurro – Zucchetti Centro Sistemi	ME3000SP + PYLONTECH US2000B Plus (9.6 kWh)	1	Kus
4	Měřič			Počítadlo napájení	1	Kus
5	Měřič			Obousměrné počítadlo	1	Kus
6	Kabel			AC vedení 1fázové 2,52 mm ² Měď		m
7	Kabel			Kabel propojení do série 2,5 mm ² Měď	60	m

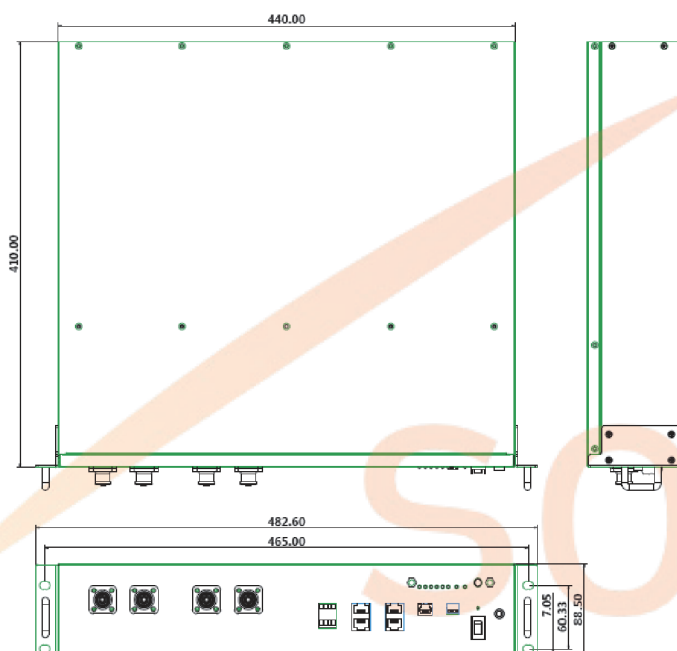
PŘÍLOHA 2: KATALOGOVÝ LIST AKUMULÁTORU



Pylon Technologies Co., Ltd.

No. 73, Lane 887, ZuChongzhi Road, Zhangjiang Hi-Tech Park Pudong,
Shanghai 201203, China

1.2 Specifikace



Základní parametry	US2000B
Jmenovité napětí (V)	48
Jmenovitá kapacita (Ah)	50
Rozměry (mm)	440 × 410 × 89
Hmotnost (kg)	24
Vybíječ napětí (V)	45–54
Nabíjecí napětí (V)	52,5–54
Maximální vybíjecí proud (A)	100 (2C)@1Min
Maximální nabíjecí proud (A)	100 (2C)@1Min
Komunikace	RS232, RS485, CAN
Rozsah pracovních teplot	0 °C – 50 °C
Teplota při skladování	-40 °C – 80 °C
Certifikace	TÜV/CE/UN38.3/TLC
Konstrukční životnost	10 let a více (25 °C)
Počet nabíjecích cyklů	>6000 (80% vybití)

PŘÍLOHA 3: KATALOGOVÝ LIST STRÍDAČE

Fronius Primo	4.0-1	4.6-1	5.0-1
---------------	-------	-------	-------

Vstupní údaje

Rozsah napětí MPP	210 - 800 V	240 - 800 V	240 - 800 V
Max. vstupní napětí při 1000 W/m ² / 14 °C v chodu naprázdno	1000 V		
Max. vstupní proud (MPPT1 / MPPT2)	12,0 A		
Maximální zkratový proud solárních panelů	18,0 A		
Max. zpětný napájecí proud ⁴⁾	18,0 A		

Výstupní údaje

Jmenovitý výstupní výkon (P _{nom})	4000 W	4600 W	5000 W
Max. výstupní výkon	4000 W	4600 W	5000 W
Jmenovité síťové napětí	1 ~ NPE 220 / 230 / 240 V		
Min. síťové napětí	150 V ¹⁾		
Max. síťové napětí	270 V ¹⁾		
Max. výstupní proud	18,3 A	21,1 A	22,9 A
Jmenovitá frekvence	50 / 60 Hz ¹⁾		
Činitel zkreslení	< 5 %		
Účinník cos phi	0,85 - 1 ind./kap. ²⁾		
Max. přípustná síťová impedance Z _{max} na PCC ³⁾	žádná		
Proudový ráz při zapnutí ⁶⁾ a doba trvání			
Max. výstupní chybový proud za časový interval	38 A / 172 ms		

Všeobecné údaje

Maximální účinnost	98,1 %	98,1 %	98,1 %
Evrop. účinnost	97,0 %	97,0 %	97,1 %
Vlastní spotřeba v noci	0,6 W		
Chlazení	řízené nucené větrání		
Krytí	IP 65		
Rozměry v x š x h	628 x 428 x 205 mm		
Hmotnost	21,6 kg		
Přípustná okolní teplota	-40 °C až +55 °C		
Přípustná vlhkost vzduchu	0 - 100 %		
Emisní třída EMC	B		
Kategorie přepětí DC/AC	2 / 3		

Bezpečnostní zařízení

Měření izolace DC	varování/odpojení ⁷⁾ při R _{ISO} < 1 MΩ
Chování při přetížení DC	posunutí pracovního bodu, omezení výkonu
Odpojovač DC	integrován

PŘÍLOHA 4: KATALOGOVÝ LIST FV PANELŮ

www.jinkosolar.com



Eagle 60P

260-280 Watt

POLY CRYSTALLINE MODULE

Positive power tolerance of 0~+3%

ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, OHSAS 18001 certified factory.
IEC 61215, IEC 61730 certified products.










(5BB)



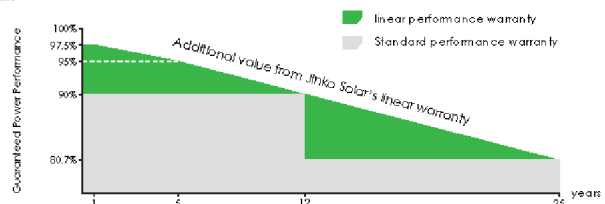
KEY FEATURES



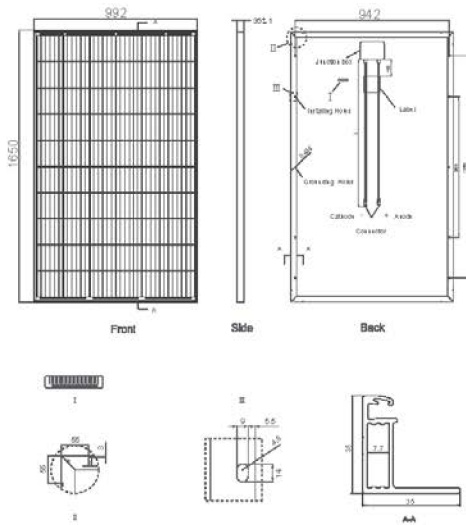
- 
5 Busbar Solar Cell:
 5 busbar solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules, offers a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.
- 
High Power Output:
 Polycrystalline 60-cell module achieves a power output up to 280Wp.
- 
PID RESISTANT:
 Eagle modules pass PID test, limited power degradation by PID test is guaranteed for mass production.
- 
Low-light Performance:
 Advanced glass and surface texturing allow for excellent performance in low-light environments.
- 
Severe Weather Resilience:
 Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).
- 
Durability against extreme environmental conditions:
 High salt mist and ammonia resistance certified by TUV NORD.
- 
Temperature Coefficient:
 Improved temperature coefficient decreases power loss during high temperatures.

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

10 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty



Engineering Drawings

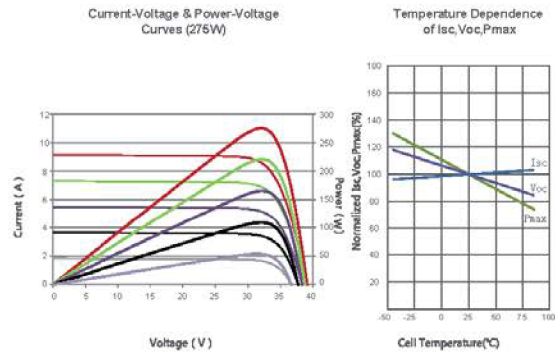


Packaging Configuration

(Two pallets=One stack)

30pcs/pallet, 60pcs/stack, 840 pcs/40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	Poly-crystalline 156×156mm (6 inch)
No. of cells	60 (6×10)
Dimensions	1650×992×35mm (65.00×39.05×1.37 inch)
Weight	19.0 kg (41.9 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TÜV 1×4.0mm ² , Length: 900mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM260PP-60		JKM265PP-60		JKM270PP-60		JKM275PP-60		JKM280PP-60	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	260Wp	193Wp	265Wp	197Wp	270Wp	200Wp	275Wp	204Wp	280Wp	208Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	31.1V	28.7V	31.4V	29.0V	31.7V	29.4V	32.0V	29.8V	32.3V	30.1V
Maximum Power Current (Imp)	8.37A	6.71A	8.44A	6.78A	8.52A	6.80A	8.61A	6.85A	8.69A	6.91A
Open-circuit Voltage (Voc)	38.1V	35.2V	38.6V	35.3V	38.8V	35.4V	39.1V	35.4V	39.4V	35.6V
Short-circuit Current (Isc)	8.98A	7.31A	9.03A	7.36A	9.09A	7.38A	9.15A	7.44A	9.20A	7.99A
Module Efficiency STC (%)	15.88%		16.19%		16.50%		16.80%		17.11%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	20A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.40%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.31%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.06%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

STC: Irradiance 1000W/m² Cell Temperature 25°C AM=1.5

NOCT: Irradiance 800W/m² Ambient Temperature 20°C AM=1.5 Wind Speed 1m/s

* Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. EN-JKM-280PP-60_rev2017