



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

MALÁ FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA NA RODINNÉM DOMĚ

SMALL PHOTOVOLTAIC POWER STATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Štefan Cingel

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

BRNO 2018



Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektrotechnická výroba a materiálové inženýrství**
Ústav elektrotechnologie

Student: Bc. Štefan Cingel

ID: 164930

Ročník: 2

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Malá fotovoltaická elektrárna na rodinném domě

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s principy fotovoltaických systémů a jejich komponent se zaměřením na malé fotovoltaické systémy na rodinných domech. Zhodnoťte využití těchto systémů z hlediska legislativy České republiky a posuďte ekonomickou návratnost.

Proveďte dlouhodobé sledování spotřeby vybraného rodinného domu a vytvořte energetický profil této domácnosti.

Proveďte návrh grid-off fotovoltaického systému a vytvořte projekt na jeho realizaci. V případě možnosti ověřte jeho funkčnost a vypočítejte ekonomickou návratnost.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 22.5.2018

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

Konzultant:

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „**Malá fotovoltaická elektrárna na rodinném domě**“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu 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 uvedeného semestrálního projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 22. května 2018

.....
podpis autora

Poděkování

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

V Brně dne 22. května 2018

.....
podpis autora

Abstrakt

Tato diplomová práce pojednává v první části o principu fotovoltaického jevu a rozdělení fotovoltaických systémů. Dále pak seznamuje čtenáře s možnostmi čerpání dotací „Zelená Úsporám“ v rámci programu „Nová Zelená Úsporám“ Ministerstva životního prostředí. V neposlední řadě mapuje energetickou náročnost rodinného domu a na jejím základě uvádí možnosti návrhu fotovoltaického systému, včetně odhadu ekonomické návratnosti.

Klíčová slova:

Off-grid, On-grid fotovoltaický systém, legislativa, energie, úspora.

Abstract:

This diploma thesis deals with the principle of photovoltaic phenomenon and the distribution of photovoltaic systems. It also informs the reader about the possibilities of using the "Green Savings" subsidy within the program "New Green Savings" of the Ministry of the Environment. Last, but not least, it maps the energetic demands of the family house and, on the basis of it, presents the possible design of the photovoltaic system, including the estimation of the economic return.

Keywords:

Off-grid, On-grid photovoltaic system, legislation, energy, savings.

Bibliografická citace mé práce:

CINGEL, Š. *Malá fotovoltaická elektrárna na rodinném domě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 72 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Obsah

Obsah.....	5
Seznam zkratk a symbolů.....	7
Úvod.....	10
1. Princip fotovoltaického článku.....	11
2. Vývoj FV článků.....	12
2.1 První generace.....	12
2.2 Druhá generace.....	12
2.3 Třetí generace.....	13
3. Rozdělení Fotovoltaických systémů.....	15
3.1 Autonomní systémy – Off-grid.....	15
3.1.1. Off-grid systémy s přímým napájením.....	16
3.1.2. Off-grid systém s akumulací elektrické energie.....	16
3.1.3. Hybridní Off-grid systém.....	17
3.2 Systémy dodávající elektrickou energii do veřejné rozvodné sítě - On-grid.....	18
3.2.1. On-grid bez akumulace elektrické energie.....	18
3.2.2. On-grid s akumulací elektrické energie.....	18
4. Dotační program Nová Zelená Úsporám (2018).....	20
4.1 O programu.....	20
4.2 Cíle Programu.....	20
4.3 Zdroje financování Programu.....	20
4.4 Možnosti žádosti o dotaci v rámci programu Nová Zelená Úsporám.....	20
4.4.1. Oblasti podpory pro rodinné domy:.....	21
4.4.2. Oblasti podpory pro bytové domy:.....	21
4.5 Podmínky oblasti podpory C.....	22
4.5.1. Podoblast C.3 - Instalace solárních termických a fotovoltaických (FV) systémů	22
5. Energetický zákon ČR.....	25
6. Analýza vhodnosti objektu pro instalaci fotovoltaického systému.....	26
6.1 Lokalita rodinného domu.....	26
6.2 Fotky domu a okolí.....	28
6.3 Spotřebiče elektrické energie v domácnosti.....	30
6.4 Energetický profil domácnosti.....	30
6.5 Měření spotřeby elektrické energie v ČR.....	35
6.5.1. Porovnání jednotlivých způsobů měření.....	35
6.5.2. Asymetrický střídač.....	36
7. Nástroje pro návrh fotovoltaických systémů.....	37
7.1 PV*SOL.....	37
7.2 PVGIS.....	38
8. Návrh fotovoltaického systému.....	39
8.1 Porovnání předpovědi software PVGIS a PVSOL.....	39
8.2 Návrh Off-grid systému.....	40
8.2.1. Výsledek návrhu a ekonomická návratnost.....	48
8.2.2. Zvolené komponenty (Off-grid).....	52
8.3 Návrh On-grid systému.....	54
8.3.1. On-grid – Jeden string bez akumulátoru.....	54
8.3.2. On-grid – Optimalizovaný.....	60

8.3.3. Zvolené komponenty (On-grid)	68
Závěr.....	69
Seznam literatury.....	70
Seznam příloh.....	72

Seznam zkratek a symbolů

FV	Fotovoltaika
EPBT	Energy payback time
EROEI	Energy Returned on Energy Invested
OZE	Obnovitelné zdroje energie
Si	Křemík
Ge	Germanium
In	Indium
Cu	Měď
EVA	Etylen vinyl acetát
GPS	Global Positioning System
JRC	Joint Reseach Center
MPP	Bod maximálního výkonu

Seznam obrázků:

Obr. 1.1: Princip funkce solárního článku [1].....	11
Obr. 1.2: Složení solárního panelu [5]	11
Obr. 2.1: Křemíkové články [6]	12
Obr. 2.2: Struktura a-Si Triple Junction fotovoltaického článku [3]	13
Obr. 2.3: Schéma tandemového článku.....	14
Obr. 2.4: Porovnání cena/účinnost jednotlivých generací FV panelů [3]	14
Obr. 3.1: Off - grid připojení [8]	15
Obr. 3.2: Off - grid připojení s přímým napájením [9]	16
Obr. 3.3: Off - grid připojení s akumulací [9].....	16
Obr. 3.4: Off - grid systém s možností připojení dalších zdrojů el.energie – hybridní systém [10]	17
Obr. 3.5: On - grid systém pro připojení k rozvodné síti [8].....	18
Obr. 3.6: On - grid systém s akumulací elektrické energie	19
Obr. 3.7: Rozdělení fotovoltaických systémů [20]	19
Obr. 6.1: Lokalita domu [12]	26
Obr. 6.2: Informace o pozemku [13].....	27
Obr. 6.3: Katastrální mapa [13].....	27
Obr. 6.4: Přední část domu	28
Obr. 6.5: Zadní část domu	28
Obr. 6.6: Pohled na sousední dům ze severní strany.....	29
Obr. 6.7: Pohled na sousední dům z jižní strany	29
Obr. 6.8: Zátěžový profil G0 [14]	31
Obr. 6.9: Zátěžový profil H0 [14]	31
Obr. 6.10: Spotřeba elektrické energie v jednotlivých měsících (Stav elektroměru)	32
Obr. 6.11: Měsíční spotřeba energie ve sledované domácnosti – ČR – 2 osoby + 1 dítě	33
Obr. 6.12: Měsíční spotřeba energie – Německo – 2 osoby + 1 dítě	33
Obr. 6.13: Měsíční spotřeba energie – Německo – 2 osoby + 2 děti	34
Obr. 6.14: Porovnání spotřeby el. energie – Zelená (Sledovaná domácnost ČR – 2 osoby + 1 dítě), Tmavě modrá (Německo – 2 osoby + 1 dítě), Světle modrá (Německo – 2 osoby + 2 děti).....	34
Obr. 7.1: Online prostředí PVGIS [15]	38
Obr. 8.1: Předpověď výroby el. energie v programu PVSol a PVGIS	40
Obr. 8.2: PVSol – Stránka s názvem: Project data.....	41
Obr. 8.3: PVSol – Stránka s názvem: Systém Type, Climate and Grid	41
Obr. 8.4: PVSol – Stránka s názvem: Consumption	42
Obr. 8.5: PVSol – Podsložka - Terrain View	42
Obr. 8.6: PVSol – Podsložka - Object View	43
Obr. 8.7: PVSol – Podsložka - Module Coverage.....	43
Obr. 8.8: PVSol – Podsložka - Module Configuration	44
Obr. 8.9: PVSol – Podsložka - Cable Plan	44
Obr. 8.10: PVSol – Stránka s názvem: Battery system.....	45
Obr. 8.11: PVSol – Stránka s názvem: Cables.....	45
Obr. 8.12: PVSol – Stránka s názvem: Plans	46
Obr. 8.13: PVSol – Stránka s názvem: Financial Analysis.....	46
Obr. 8.14: PVSol – Economic Efficiency Calculation - General Parameters	47
Obr. 8.15: PVSol - Economic Efficiency Calculation - Income and expenditure	47
Obr. 8.16: PVSol – Stránka s názvem: Results	48
Obr. 8.17: PVSol - Off-grid systém - Tok energie.....	49

Obr. 8.18: PVSol - Off-grid systém - Krytí celkové spotřeby	49
Obr. 8.19: PVSol - Off-grid systém - Kumulovaný finanční tok.....	50
Obr. 8.20: PVSol – On-grid – Výběr systému	54
Obr. 8.21: PVSol – On-grid – Zátěžový profil.....	55
Obr. 8.22: PVSol – On-grid – Rozložení panelů na střeše.....	55
Obr. 8.23: PVSol – On-grid – Elektrické schéma zapojení	56
Obr. 8.24: PVSol – On-grid – Finanční analýza	56
Obr. 8.25: PVSol - On-grid systém - Tok energie	57
Obr. 8.26: PVSol - On-grid systém - Krytí celkové spotřeby	58
Obr. 8.27: PVSol - On-grid systém - Kumulovaný finanční tok.....	58
Obr. 8.28: PVSol – On-grid (Optimalizovaný) – Výběr systému	60
Obr. 8.29: PVSol – On-grid (Optimalizovaný) – Zátěžový profil	61
Obr. 8.30: PVSol – On-grid (Optimalizovaný) – Rozložení panelů na střeše	61
Obr. 8.31: PVSol – On-grid (Optimalizovaný) – Zastínění jiho-západní strany střechy	62
Obr. 8.32: PVSol – On-grid (Optimalizovaný) - Baterie	62
Obr. 8.33: PVSol – On-grid (Optimalizovaný) - Ztráty v kabelech.....	63
Obr. 8.34: PVSol – On-grid (Optimalizovaný) - Schéma zapojení	63
Obr. 8.35: PVSol – On-grid (Optimalizovaný) – Finanční analýza - nastavení	64
Obr. 8.36: PVSol - On-grid systém (Optimalizovaný) - Tok energie	65
Obr. 8.37: PVSol - On-grid systém (Optimalizovaný) - Krytí celkové spotřeby.....	65
Obr. 8.38: PVSol - On-grid systém (Optimalizovaný) – Kumulovaný finanční tok	66

Seznam tabulek

Tab. 4.1: Dotace z programu Nová zelená úsporám [11].....	23
Tab. 4.2: Požadavky na solární termické systémy v podoblasti C.3.1 a C.3.2 [11].....	23
Tab. 4.3: Požadavky na fotovoltaické systémy v podoblasti podpory C.3.3 [11].....	24
Tab. 4.4: Požadavky na fotovoltaické systémy v podoblasti podpory C.3.4, C.3.5, C.3.6, C.3.7 [11]	24
Tab. 6.1: Spotřeba elektrické energie.....	30
Tab. 6.2: Standartní zátěžové profily [14].....	30
Tab. 6.3: Měsíční spotřeba energie v kWh.....	32
Tab. 8.1: Předpověď výroby el. energie v programu PVSol a PVGIS	39
Tab. 8.2: Off-grid systém - Výnosy	48
Tab. 8.3: Off-grid systém - Tabulka peněžních toků	50
Tab. 8.4: EGing EG-255 P60-C [16].....	52
Tab. 8.5: SolaX Power X1-2.0-S [17].....	53
Tab. 8.6: Systém baterií: X Hybrid 3.0 kW	53
Tab. 8.7: On-grid systém - Výnosy	57
Tab. 8.8: On-grid systém - Tabulka peněžních toků	59
Tab. 8.9: On-grid systém (Optimalizovaný) - Výnosy.....	64
Tab. 8.10: On-grid systém (Optimalizovaný) - Tabulka peněžních toků.....	66
Tab. 8.11: SolaX Power X3-4.0-T [21].....	68

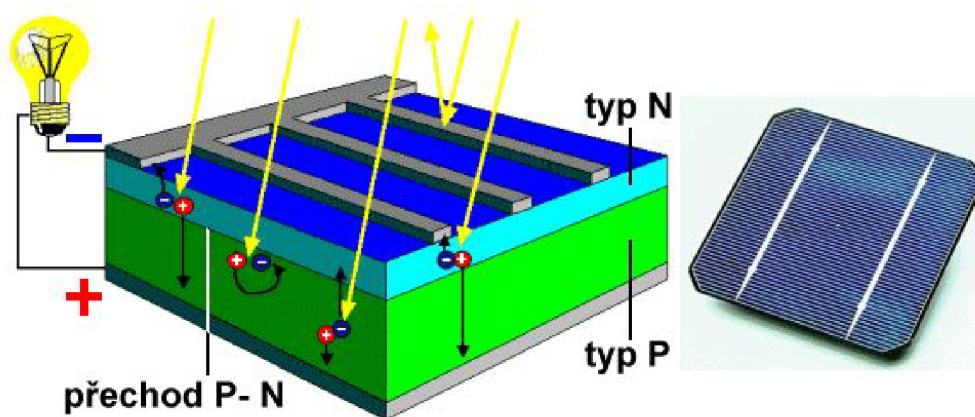
Úvod

V dnešní době si již lidé nedokážou představit život bez elektrické energie, značný posun lidstva v oblasti moderních technologií zapříčinil, že bez zdroje elektřiny již nedokážeme žít. Bohužel velkou většinu energie si bereme z neobnovitelných zdrojů energie, jako jsou například fosilní paliva. Všichni ale moc dobře víme, že tyto zdroje nejsou neomezené a proto si musíme čím dál častěji pokládat otázku, co budeme dělat, až nám tyto zásoby dojdou a hledat nové alternativní možnosti, jak uspokojit celosvětovou poptávku po velkém množství energie. Jednou z možností je využití fotovoltaických panelů, které jsou už delší dobu využívány a které se neustále zdokonalují a posouvají své hranice možností, jak co nejlépe využít a přeměnit sluneční energii na energii elektrickou. Fotovoltaické panely se čím dál častěji objevují na střeších domů či rekreačních budov. Důvodů je hned několik, moderní člověk se snaží myslet ekologicky s ohledem na životní prostředí a zároveň s myšlenkou finanční úspory za náklady na energie, další věcí je, že fotovoltaické panely jsou častou volbou tam, kde není rozvedená elektrická síť a kde bez problémů pokryjí neveliké nároky na spotřebu elektrické energie.

Tato práce má za cíl seznámit čtenáře s fotovoltaickými systémy a názorně ukázat, jak vypadá návrh celého fotovoltaického systému a s ním spojené nároky, ať systémové či legislativní.

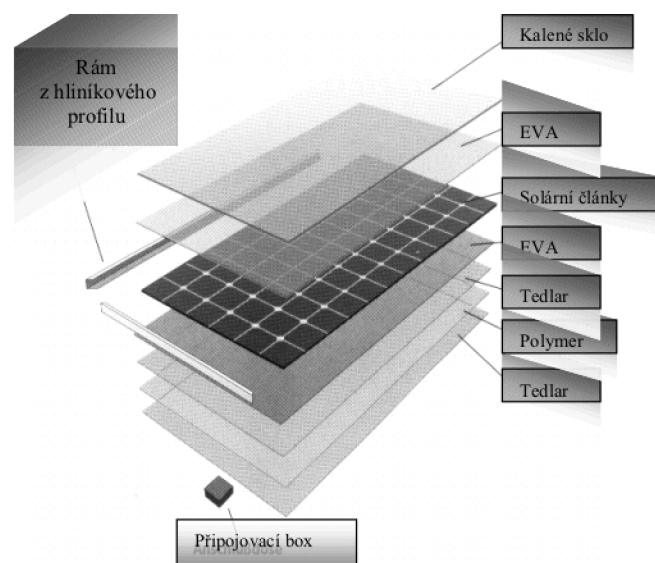
1. Princip fotovoltaického článku

Solární (fotovoltaický) článek je v podstatě polovodičová dioda, která se skládá z tenké křemíkové destičky většinou s vodivostí typu P. Následně se na ní během výroby vytvoří velice tenká vrstva polovodiče typu N. Na rozhraní těchto dvou materiálů vzniká přechod PN. Při dopadu slunečního záření na destičku vzniká fotovoltaiický jev – v ozářeném článku jsou generovány elektricky nabitě částice (elektron-díra), díky nimž vzniká elektrický potenciál, který dosahuje u křemíkového článku velikosti zhruba 0,6 V. Energie dopadajícího světla se v článku přeměňuje na energii elektrickou. Po připojení zátěže (elektrospotřebiče) mezi vyvedené kontakty solárního článku začíná obvodem protékat stejnosměrný elektrický proud, který je přímo úměrný ploše solárního článku a intenzitě dopadajícího slunečního záření.



Obr. 1.1: Princip funkce solárního článku [1]

Pokud je třeba zvětšit napětí nebo proud, zapojí se jednotlivé články sériově či paralelně. Efektivita přeměny dodané světelné energie na energii elektrickou závisí především na struktuře materiálu a způsobu jakým jsou solární články vyrobeny (laboratorní nebo průmyslová výroba). [1]



Obr. 1.2: Složení solárního panelu [5]

2. Vývoj FV článků

2.1 První generace

První generací jsou křemíkové deskové články. Tyto články tvoří zhruba 95% současné produkce FV průmyslu a dosahují poměrně vysoké účinnosti přeměny (v sériové výrobě 16 až 19 %, speciální struktury až 24 %). Přestože je jejich výroba relativně drahá (a to zejména z důvodu velkého množství vstupního materiálu – krystalického křemíku), budou ještě v několika dalších letech na trhu dominovat.

Cílem vývoje v nejbližší době je další zkrácení energetické návratnosti (EPBT) a zlepšení poměru získané a vložené energie (EROEI) a zejména snížení ceny zhruba na třetinu současné úrovně. K uvedeným cílům vede snížení spotřeby polovodičových materiálů, snížení spotřeby energie ve výrobě, další zvýšení účinnosti a prodloužení životnosti na 40 a více let. Vzhledem k dynamickému vývoji v poslední době lze říci, že technologie krystalického křemíku zdaleka nevyčerpala svůj potenciál. [2]

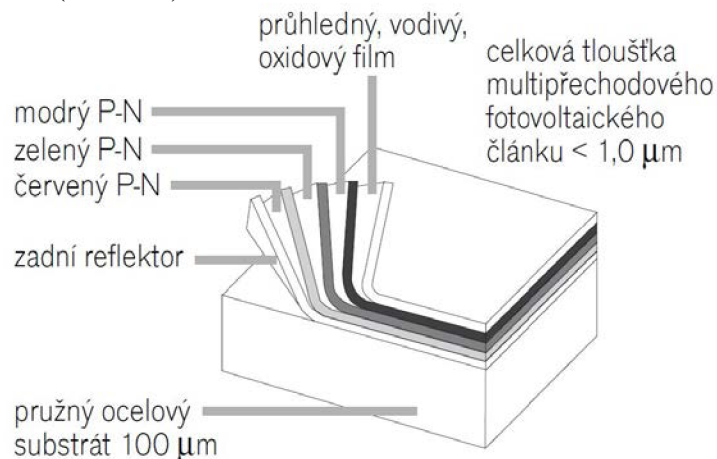


Obr. 2.1: Křemíkové články [6]

2.2 Druhá generace

Impulsem pro rozvoj článků druhé generace byla především snaha o snížení výrobních nákladů úsporou množství základního materiálu – křemíku. Články druhé generace se vyznačují 100 krát až 1000 krát tenčí aktivní absorbující polovodičovou vrstvou (thin-film) a jejichmi představiteli jsou např. články z amorfního a mikrokřemíkového křemíku (případně silicon-germania, či silicon-karbidu, ale také tzv. směsné polovodiče z materiálů jako Cu, In, Ga, S, Se, označované obecně jako CIS struktury). S úsporou materiálu došlo v porovnání s články první generace k poklesu výrobních nákladů (a tedy za předpokladu velkosériové výroby i k poklesu ceny), nicméně dosahovaná účinnost je obvykle nižší (v sériové výrobě obecně pod 10%). Nespornou výhodou tenkovrstvých článků je možnost volby substrátu (na něj se tenkovrstvé struktury deponují) a v případě použití flexibilních materiálů (organické, kovové či textilní folie) i značně širší aplikační sféra. Komerčně se začaly články druhé generace prodávat v polovině osmdesátých let.

Výše zmíněné fotovoltaické články 2. generace na bázi amorfního a-Si jsou pružné, ohebné a podstatně tenčí a lehčí než krystalické články. Je proto možné je již ve výrobě přímo integrovat na horní povrch pružného ocelového substrátu povrchově upraveného a běžných polymerních hydroizolačních fólií na bázi etylen-vinyl-acetátu (EVA fólie), a tudíž nepotřebují žádnou vlastní nosnou nebo podpěrnou konstrukci jako klasické krystalické systémy. Pro zlepšení vlastností a-Si článků se využívá technologie tzv. a-Si Triple Junction (trojitý přechod), která umožňuje oproti krystalickým článkům vyšší využití v širším spektru vlnových délek slunečního záření. Základ článku o rozměrech 240 × 340 mm tvoří tři buňky amorfního křemíku vakuově nanesené ve třech P-I-N strukturách nad sebou na podkladní vrstvu z ušlechtilé oceli (Obr. 2.2).



Obr. 2.2: Struktura a-Si Triple Junction fotovoltaického článku [3]

Spodní (-) pól článku tvoří základní fólie z ušlechtilé ocelové fólie, vhodně upravená plastickými potahy, na kterou jsou jednotlivé P-I-N přechody kontinuálně nanášeny, horní (+) pól je vytvořen z průhledné mřížky z vláken z ušlechtilé oceli. Materiál, který tvoří jednotlivé P-I-N přechody je různý. První přechod je tvořen a-Si, druhý přechod je tvořen slitinou a-Si-Ge, třetí také slitinou, ale s vyšším obsahem Ge. Tím se docílí využití celého spektra slunečního záření. Každý z P-I-N přechodů absorbuje totiž interval volných délek slunečního záření. Fotovoltaické systémy na bázi a-Si třívrstvé technologie mohou oproti krystalické technologii využívat vedle červené složky i složku zelenožlutou a modrou dopadajícího světla, a zůstávají proto funkční i při difuzním světle při zastínění a při zatažené obloze. Mohou tedy pracovat i na plochách odvrácených od slunce. [3]

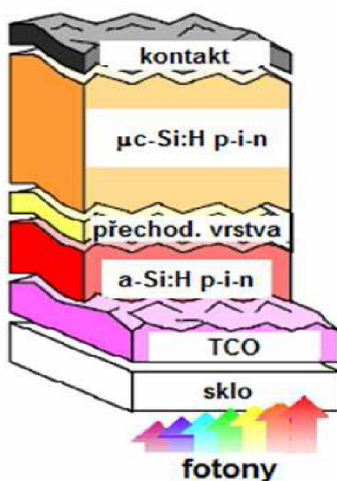
2.3 Třetí generace

Pokus o „fotovoltaickou revoluci“ představují solární články třetí generace. Tyto články překonávají Shockleyův-Queisserův limit účinnosti použitím širokého spektra technik. V současnosti lze za nejpokročilejší v této kategorii považovat vícevrstvé a koncentrátorové články. Hlavním cílem je nejen snaha o maximalizaci počtu absorbovaných fotonů a následně generovaných párů elektron - díra („proudový“ zisk), ale i maximalizace využití energie dopadajících fotonů („napěťový“ zisk fotovoltaických článků). Existuje řada směrů, kterým je ve výzkumu věnována pozornost:

- vícevrstvé solární články (z tenkých vrstev)
- články s vícenásobnými pásy

- články, které by využívaly „horké“ nosiče náboje pro generaci více párů elektronů a děr
- termofotovoltaická přeměna, kde absorbér je současně i radiátorem vyzařujícím selektivně na jedné energii
- termofotonická přeměna, kde absorbér je nahrazen elektroluminiscencí
- články využívají kvantových jevů v kvantových tečkách nebo kvantových jamách
- prostorově strukturované články vznikající samoorganizací při růstu aktivní vrstvy
- organické články (např. na bázi objemových heteropřechodů)

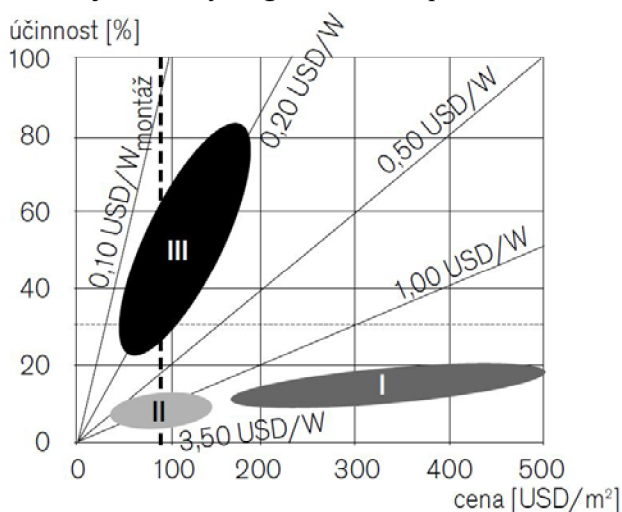
Nicméně prakticky jediný fungující přístup ke třetí generaci fotovoltaiky jsou tandemové články. Pokusy o experimentální realizaci článků s vícenásobnými pásy byly zklamáním a možné zvýšení účinnosti díky "horkým" nosičům v křemíku je zřejmě malé. Ostatně i návrhy nových článků s polovodičovými nanokrystaly (viz Obr. 2.3) využívají tandemové architektury. [4]



Obr. 2.3: Schéma tandemového článku

K prolomení Shockley-Queisserovy hranice tedy potřebujeme nový objev jako např. experimentální důkaz násobení náboje v polovodičových nanokrystalech.

Obr. 2.4 zobrazuje porovnání jednotlivých generací FV panelů v závislosti cena/účinnost



Obr. 2.4: Porovnání cena/účinnost jednotlivých generací FV panelů [3]

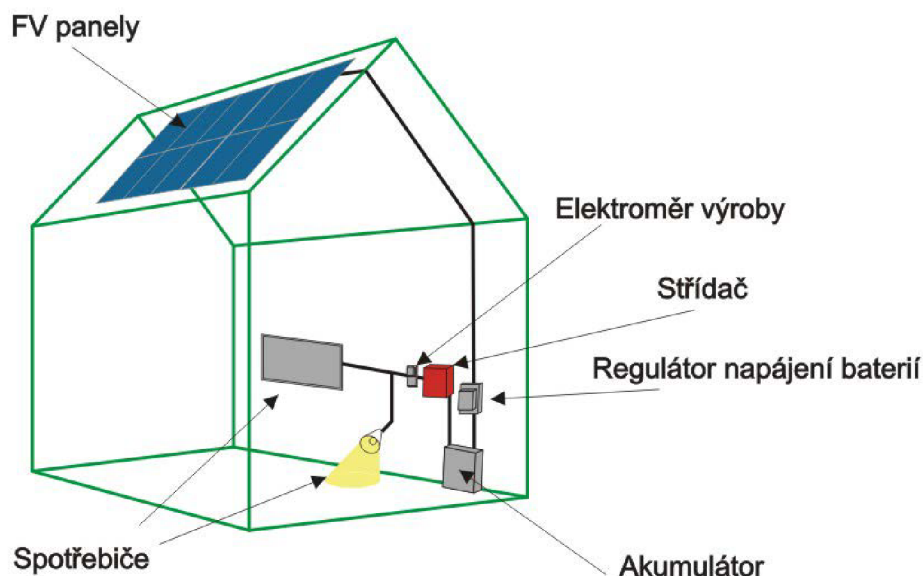
3. Rozdělení Fotovoltaických systémů

Slunečnímu záření vystavené fotovoltaické moduly jsou schopny dodávat do spotřebiče stejnosměrný proud. Pro jeho následné využití je potřeba připojit k modulu kromě elektrických spotřebičů další technické prvky – např. akumulátorovou baterii, regulační zařízení, měnič, sledovač slunce, indikační a měřicí přístroje. Sestava fotovoltaického modulu, spotřebiče a případně dalších prvků se nazývá fotovoltaickým systémem. Množství a skladba prvků fotovoltaického systému závisí na druhu aplikace.

3.1 Autonomní systémy – Off-grid

Autonomní systémy jsou instalovány na místech, kde není účelné budovat elektrickou přípojku. Realizace fotovoltaického systému se stává výhodnější variantou v případě, že stávající nejbližší přípojně místo k rozvodné síti je dále než 500 až 1000 m (záleží na typu přípojky). Výkony autonomních systémů se pohybují v intervalu 10 - 10 000 wattů špičkového výkonu. V návrhu takto napájeného objektu nelze opomenout zřízení zvláštní místnosti pro akumulátory a případně pro spalovací generátor. U autonomních systémů je kladen důraz na minimální ztráty energie a na používání energeticky úsporných spotřebičů.

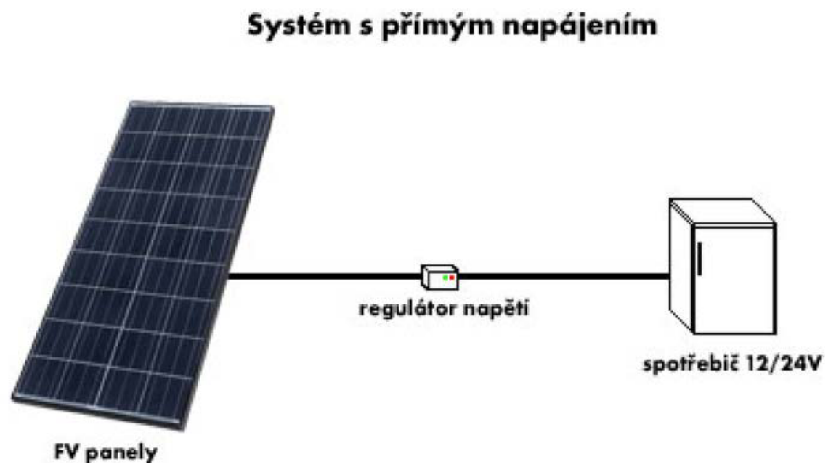
Příklady použití: horské chaty, samoty, rekreační objekty, telekomunikační zařízení. Tyto systémy jsou nejvíce používány v Austrálii, Francii, Itálii, Španělsku, Švýcarsku a v USA (každá z těchto zemí má instalováno více než 2 MWp ke konci roku 1995). Veliký potenciál se nachází v odlehlých oblastech rozvojových zemí.



Obr. 3.1: Off - grid připojení [8]

3.1.1. Off-grid systémy s přímým napájením

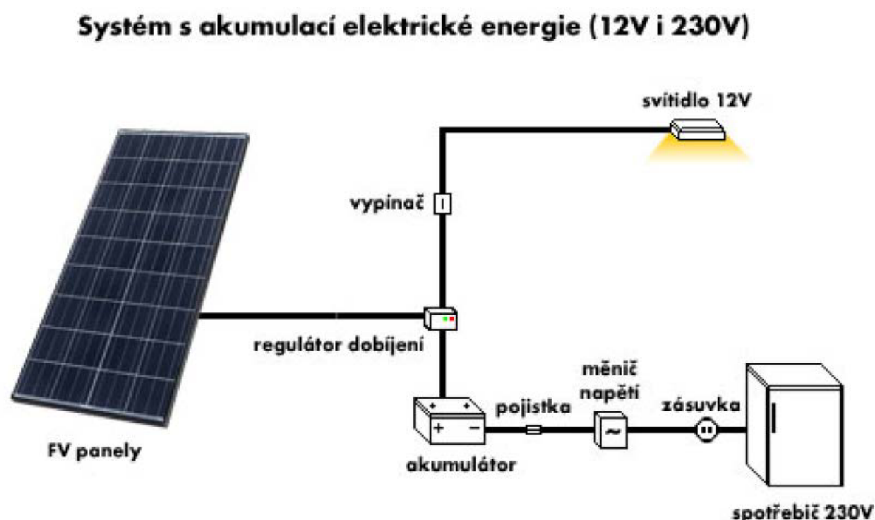
Systémy s přímým napájením jsou realizovány všude tam, kde nevadí, že připojené elektrické zařízení je funkční jenom v případě dostatečné intenzity slunečního záření. Jedná se pouze o propojení solárního modulu a spotřebiče. Čerpání vody pro závlahu je ukázkou aplikací systému bez akumulace el. energie, napájení oběhového čerpadla solárního systému pro přípravu teplé užitkové vody, napájení čerpadla okrasné fontánky nebo napájení ventilátoru odvětrání uzavřených prostor.



Obr. 3.2: Off - grid připojení s přímým napájením [9]

3.1.2. Off-grid systém s akumulací elektrické energie

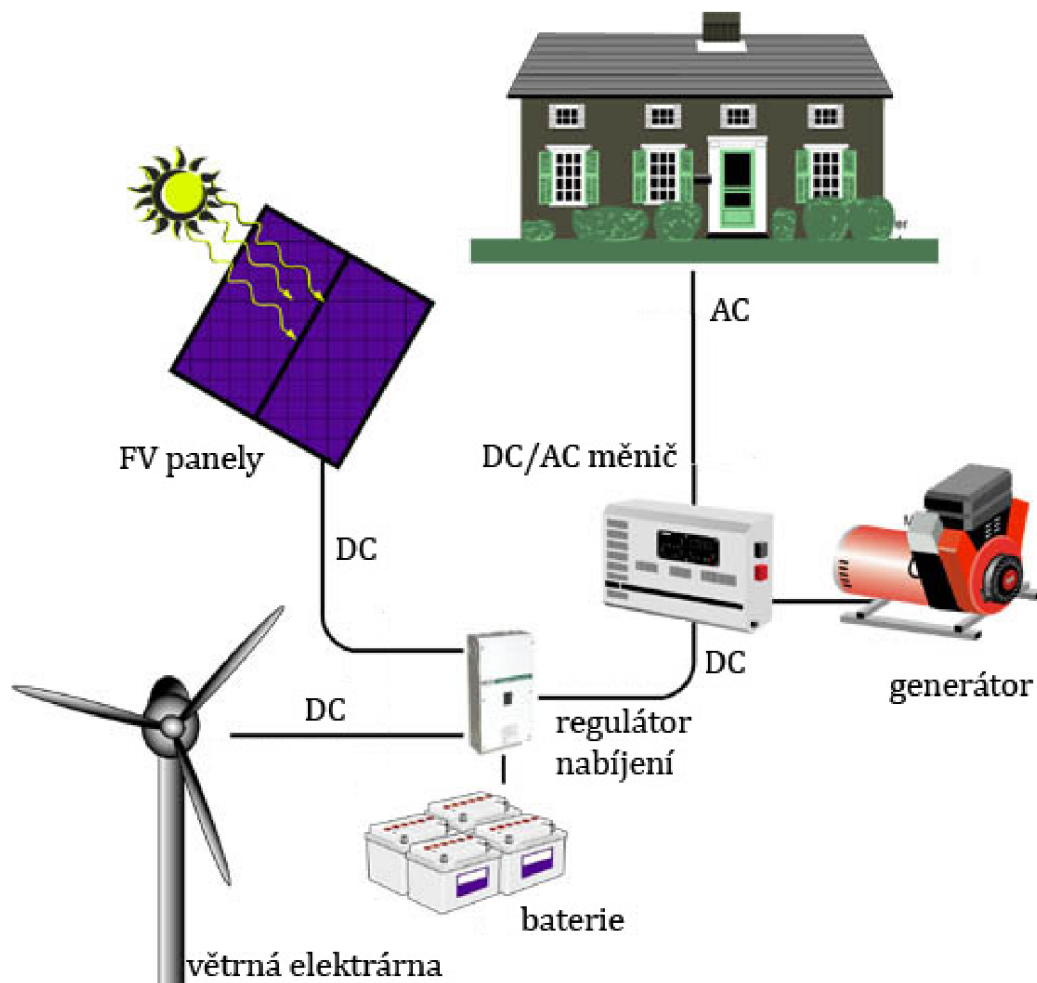
Doba, po kterou je k dispozici energie ze solárních panelů, většinou není totožná s dobou, kdy nastává její největší spotřeba. Z toho důvodu jsou nezbytnou součástí autonomních systémů akumulátorové baterie. Životnost akumulátorové baterie silně závisí na způsobu nabíjení a vybíjení, proto optimální chod systému je zajištěn solárním regulátorem. K autonomnímu systému lze připojit spotřebiče na stejnosměrný proud (napětí systému zpravidla 12 nebo 24V), tak běžné síťové spotřebiče 230V/ ~50Hz napájené přes napěťový měnič.



Obr. 3.3: Off - grid připojení s akumulací [9]

3.1.3. Hybridní Off-grid systém

V zimních měsících je možné získat z fotovoltaického zdroje podstatně méně elektrické energie než v letních měsících. Proto je nutné systémy s celoročním provozem a s častým užíváním dimenzovat na zimní provoz. Instalovaný výkon fotovoltaických panelů však v takovém případě neúměrně naroste a s tím i investiční náklady. Navíc v letních měsících je potom systém silně předimenzovaný. Mnohem výhodnější je potom z tohoto hlediska připojit k energetickému systému doplňkový zdroj elektrické energie, který pokryje potřebu elektrické energie v obdobích s nedostatečným slunečním svitem. Takovým zdrojem může být větrný generátor, spalovací generátor nejlépe s kogenerací (společná výroba elektrické a tepelné energie) anebo malá vodní elektrárna. Typický příklad je vidět (viz Obr. 3.4).

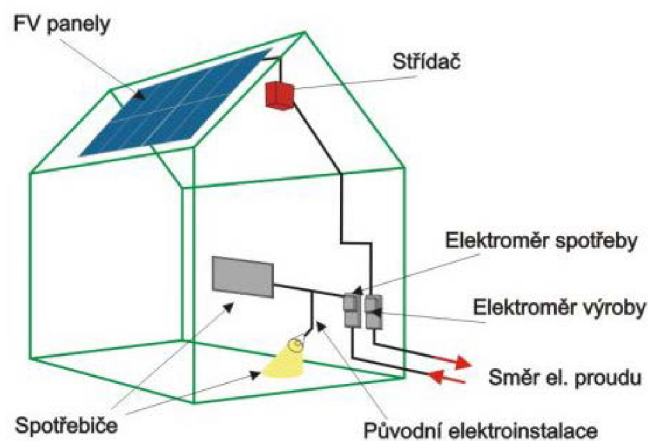


Obr. 3.4: Off - grid systém s možností připojení dalších zdrojů el.energie – hybridní systém [10]

3.2 Systémy dodávající elektrickou energii do veřejné rozvodné sítě - On-grid

3.2.1. On-grid bez akumulace elektrické energie

Tyto systémy jsou nejvíce uplatňovány v oblastech s hustou sítí elektrických rozvodů. V případě dostatečného slunečního svitu jsou spotřebiče v budově napájeni vlastní „solární“ elektrickou energií a případný přebytek je dodáván do veřejné rozvodné sítě přes elektroměr. Pokud nedostačuje vlastní solární zdroj k pokrytí spotřeby v budově, je elektrická energie odebírána přes druhý elektroměr z rozvodné sítě. Systém funguje zcela automaticky. Připojení k síti podléhá schvalovacímu řízení u rozvodných závodů. Špičkový výkon fotovoltaických systémů připojených k rozvodné síti je v rozmezí jednotek až stovek kilowatt. Fotovoltaické panely jsou většinou integrovány do obvodového pláště budov. Dnes představují největší část z instalovaných systémů. [7]

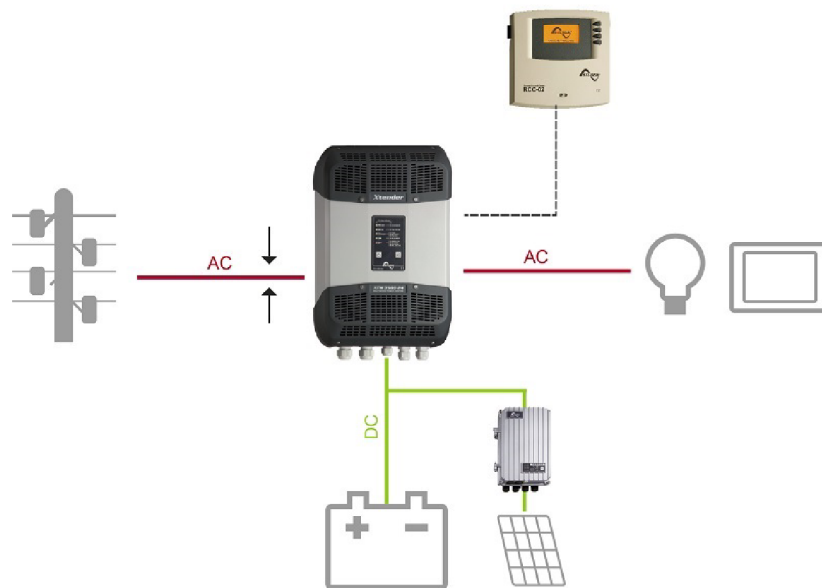


Obr. 3.5: On - grid systém pro připojení k rozvodné síti [8]

3.2.2. On-grid s akumulací elektrické energie

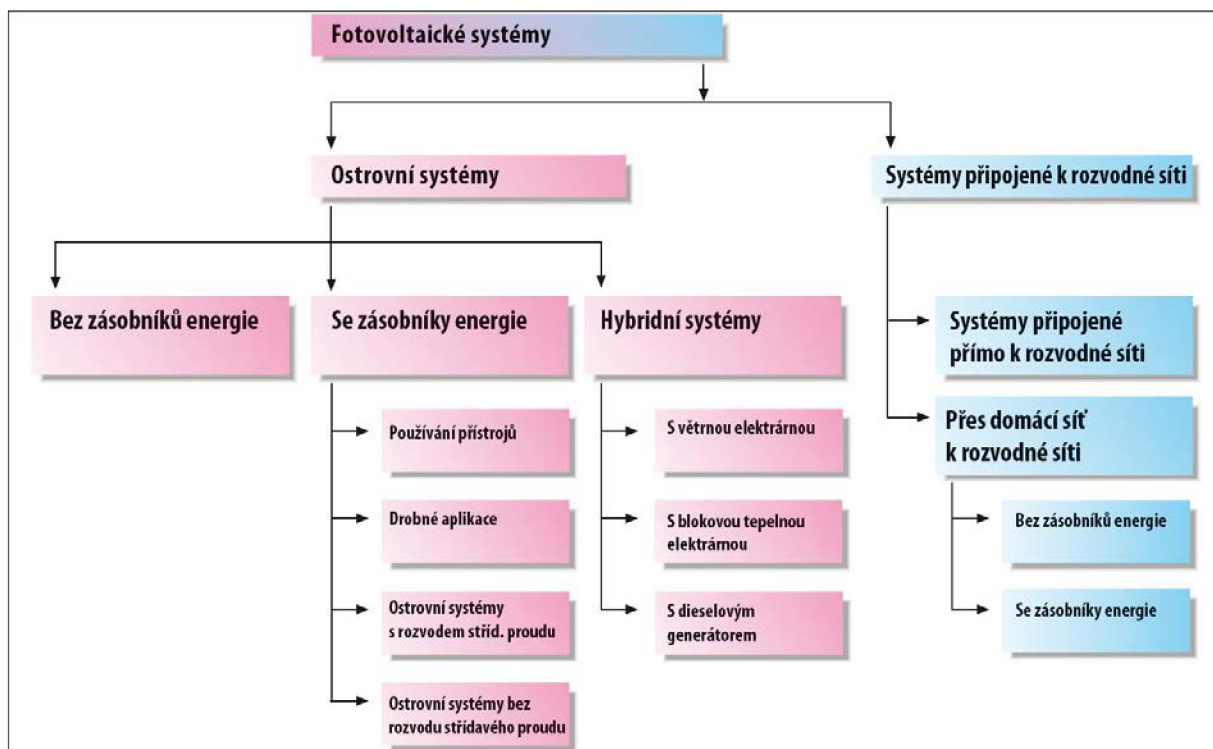
Tento On-grid fotovoltaický systém obsahuje kromě fotovoltaických panelů také akumulátory a příslušnou regulační a nabíjecí elektroniku. Výjimkou je však střídač, tedy zařízení, které převádí stejnosměrný proud na střídavý. Součástí tohoto fotovoltaického systému je hybridní měnič napětí (střídač), který umožňuje dodávat elektrinu z distribuční sítě. Jedná se o klíčový prvek domácí elektrárny, který mimo jiné zabezpečuje její požadované galvanické oddělení od distribuční sítě a řídí všechny toky energie v domě, viz. Obr. 3.6.

Pro uchování elektrické energie se často využívají dražší LiFePO₄ baterie. Ty nabízejí větší počet nabíjecích cyklů a tím i delší životnost, nevýhodou je jejich vyšší pořizovací cena. Kapacita akumulátorů je klíčová, při správně zvolené kapacitě baterií můžeme spolehlivě pokrýt spotřebu energie v časech, kdy není sluneční svit či být dokonce delší dobu nezávislý na distribuční síti.



Obr. 3.6: On - grid systém s akumulací elektrické energie

Přehledné rozdělení fotovoltaických systému je zobrazeno na Obr. 3.7. Díky tomuto rozdělení si lze snadno představit případné možnosti využití, jednotlivých typů FV systémů.



Obr. 3.7: Rozdělení fotovoltaických systémů [20]

4. Dotační program Nová Zelená Úsporám (2018)

4.1 O programu

Program Ministerstva životního prostředí, administrovaný Státním fondem životního prostředí ČR (dále jen „Fond“), podporuje energeticky úsporné rekonstrukce rodinných domů a bytových domů, výměnu nevyhovujících zdrojů na vytápění a využívání obnovitelných zdrojů energie. Představuje ekonomicky nejlepší prorůstové opatření pro českou ekonomiku, pro rozvoj podnikatelské sféry ve stavebnictví, strojírenství a dalších souvisejících oborech. Významným efektem programu Nová zelená úsporám (dále jen „Program“) je také tvorba nebo udržení desítek tisíc pracovních míst.

4.2 Cíle Programu

Hlavním cílem Programu je zlepšení stavu životního prostředí snížením produkce emisí znečišťujících látek a skleníkových plynů (především emisí CO₂), dále pak úspora energie v konečné spotřebě a stimulace ekonomiky ČR s dalšími sociálními přínosy, kterými jsou například zvýšení kvality bydlení občanů, zlepšení vzhledu měst a obcí, nastartování dlouhodobých progresivních trendů.

4.3 Zdroje financování Programu

Česká republika získala na tento program finanční prostředky prodejem tzv. emisních povolenek EUA (European Union Allowance) dle zákona č. 383/2012 Sb., o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů, ve znění pozdějších předpisů v rámci EU ETS v období 2013 – 2020. Financování Programu probíhá přes státní rozpočet ČR.

4.4 Možnosti žádosti o dotaci v rámci programu Nová Zelená Úsporám

V rámci Programu jsou podporována opatření, která vedou ke snížení energetické náročnosti budov, a to zejména formou zateplení obvodových plášťů a výměny výplní stavebních otvorů (oken a dveří). Dále je podporována výstavba nových budov s velmi nízkou energetickou náročností (budov blízcí se pasivnímu standardu), výměna neekologických zdrojů tepla za efektivní, ekologicky šetrné zdroje (například kotel na biomasu, tepelné čerpadlo nebo plynový kondenzační kotel) a instalace technologií využívajících obnovitelné zdroje energie a rekuperace tepla z odpadního vzduchu (solární termické a fotovoltaické systémy a jednotky nuceného větrání s rekuperací), a rovněž realizace zelených střech. Princip přiznání výše dotace je velmi jednoduchý. Čím více je snížena energetická náročnost budovy po realizaci opatření, tím větší je i míra finanční podpory.

V závislosti na typu dotovaného objektu se Program člení na:

- podprogram Nová zelená úsporám – rodinné domy

- podprogram Nová zelená úsporám – bytové domy

V každém podprogramu jsou definovány oblasti podpory, které jsou označeny velkými písmeny. Tyto oblasti a následně jejich podoblasti vymezují jednotlivé možnosti dotací.

4.4.1. Oblasti podpory pro rodinné domy:

A. Snižování energetické náročnosti stávajících rodinných domů

- dotace na zateplení obálky budovy - výměnou oken a dveří, zateplením obvodových stěn, střechy včetně vegetačních, stropu, podlahy
- podporována jsou dílčí i komplexní opatření

B. Výstavba rodinných domů s velmi nízkou energetickou náročností

- dotace na výstavbu nových rodinných domů s velmi nízkou energetickou náročností

C. Efektivní využití zdrojů energie

- dotace na výměnu původního hlavního zdroje na tuhá fosilní paliva nedosahující parametrů 3. emisní třídy za efektivní ekologicky šetrné zdroje
- na výměnu elektrického vytápění za systémy s tepelným čerpadlem
- na instalaci solárních termických a fotovoltaických systémů
- na instalaci systémů nuceného větrání se zpětným získáváním tepla z odpadního vzduchu
- podpora na využití tepla z odpadní vody

4.4.2. Oblasti podpory pro bytové domy:

A. Snižování energetické náročnosti stávajících bytových domů

- dotace na zateplení obálky budovy - výměnou oken a dveří, zateplením obvodových stěn, střechy, stropu, podlahy. Tato opatření lze vhodně kombinovat s výměnou neekologických zdrojů tepla za efektivní, ekologicky šetrné zdroje, instalací technologií využívajících obnovitelné zdroje energie a zpětného získávání tepla z odpadního vzduchu a další.

B. Výstavba bytových domů s velmi nízkou energetickou náročností

- dotace na výstavbu bytových domů s velmi nízkou energetickou náročností
- dotace na výstavbu zelených střech
- dotace na využití tepla z odpadní vody

C. Efektivní využití zdrojů energie

- na výměnu původního hlavního zdroje na tuhá fosilní paliva nedosahující parametrů 3. emisní třídy za efektivní ekologicky šetrné zdroje
- na výměnu elektrického vytápění za systémy s tepelným čerpadlem
- na výměnu plynového vytápění za plynová tepelná čerpadla
- na instalaci solárních termických a fotovoltaických systémů
- na instalaci systémů nuceného větrání se zpětným získáváním tepla z odpadního vzduchu
- na využití tepla z odpadní vody

4.5 Podmínky oblasti podpory C

Efektivní využití zdrojů energie

- dotace na výměnu neekologického zdroje tepla (spalující například uhlí, koks, uhelné brikety) za efektivní ekologicky šetrné zdroje (například kotel na biomasu, tepelné čerpadlo nebo plynový kondenzační kotel) a na napojení na soustavu zásobování teplem
- na výměnu elektrického vytápění za systém s tepelným čerpadlem
- na instalaci solárních termických a fotovoltaických systémů
- na instalaci systémů nuceného větrání se zpětným získáváním tepla z odpadního vzduchu
- na instalaci systému na využití tepla z odpadní vody.

4.5.1. Podoblast C.3 - Instalace solárních termických a fotovoltaických (FV) systémů

- podporována instalace solárních termických a fotovoltaických systémů do dokončených rodinných domů a do novostaveb rodinných domů (včetně rozestavěných),
- dotaci v této podoblasti může vlastník domu požádat na jeden rodinný dům pouze jednou za dobu trvání Programu, a to i v případě rodinného domu s více bytovými jednotkami. Výjimkou je kombinace solárního systému určeného pro ohřev teplé vody (podoblasti podpory C.3.1/C.3.2/C.3.3) s fotovoltaickým systémem (podoblast podpory C.3.5/C.3.6/C.3.7) s akumulací elektřiny výhradně do akumulátorů.
- nově se podpora vztahuje i na rozšíření stávajícího solárního systému, na který již byla čerpána podpora z NZÚ. Podporováno je rozšíření solárního systému z podoblasti podpory C.3.1 na solární systém splňující podmínky pro oblast podpory C.3.2, a také na rozšíření fotovoltaických systémů z podoblastí podpor C.3.3, C.3.4, C.3.5 nebo C.3.6 na některý z vyšších podporovaných fotovoltaických systémů.
- *podporu v této oblasti je možno poskytnout ve vybraných případech též na dříve podpořené rodinné domy s velmi nízkou energetickou náročností, na jejichž výstavbu byla poskytnuta podpora z Programu Nová zelená úsporám 2013 nebo Nová zelená úsporám v oblasti podpory B.*
- *na vybrané kombinace stávajících solárních systémů s novými, které mají sloužit ke stejnému nebo obdobnému účelu a byly již v minulosti podpořeny z jiných dotačních titulů, nelze poskytnout podporu.*
- při podání žádosti před dokončením rodinného domu, musí být nejpozději v okamžiku doložení dokumentů prokazujících řádné dokončení realizace podporovaných opatření (tj. dokumentů pro vydání Registrace a rozhodnutí) prokázáno řádné dokončení domu – doloží se výpis z katastru nemovitostí k novostavbě,
- v rámci podoblasti C.3.1 se připouští využití přebytečného tepla v systému vytápění a propojení se systémem UT,

- podporovány jsou pouze solární termické systémy s kolektory splňujícími minimální hodnotu účinnosti η_{sk} dle vyhlášky č. 441/2012 Sb., o stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie,
- podporovány jsou fotovoltaické systémy na přípravu teplé vody s přímým ohřevem (podoblast C.3.3),
- podpora na fotovoltaické systémy v podoblasti C.3.4, C.3.5, C.3.6, C.3.7 se poskytuje pouze na systémy připojené k distribuční soustavě po 1. 1. 2016,
- v podoblasti podpory C.3.4, C.3.5, C.3.6, C.3.7 nesmí být maximální instalovaný výkon fotovoltaického systému vyšší než 10 kWp.[11]

Tab. 4.1: Dotace z programu Nová zelená úsporám [11]

Podoblast podpory	Typ systému	Výše podpory [kč]
C.3.1	Solární termický systém na přípravu teplé vody	35 000
C.3.2	Solární termický systém na přípravu teplé vody a přitápění	50 000
C.3.3	FV systém pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem	35 000
C.3.4	FV systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem $\geq 1\,700 \text{ kWh.rok}^{-1}$	55 000
C.3.5	FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 1\,700 \text{ kWh.rok}^{-1}$	70 000
C.3.6	FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 3\,000 \text{ kWh.rok}^{-1}$	100 000
C.3.7	FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 4\,000 \text{ kWh.rok}^{-1}$	150 000

Z Tabulky 4.1 je patrné, že výše dotace může dosáhnout až 150 000 Kč, což může být podstatná část z celkových pořizovacích nákladů celého systému, kritéria pro získání dotací jsou uvedena v následujících tabulkách (Tab. 4.2, Tab. 4.3 a Tab. 4.4).

Tab. 4.2: Požadavky na solární termické systémy v podoblasti C.3.1 a C.3.2 [11]

Sledovaný parametr	Označení [Jednotky]	C.3.1	C.3.2
Vypočtený celkový využitelný zisk solární soustavy	$Q_{ss,u} [\text{kWh.rok}^{-1}]$	Bez požadavku	≥ 2200
Vypočtený měrný využitelný zisk solární soustavy	$q_{ss,u} [\text{kWh.m}^{-2}.\text{rok}^{-1}]$	≥ 350	≥ 280
Dosažení minimálního pokrytí potřeby teplé vody	[%]	≥ 50	Bez požadavku
Instalace akumulačního zásobníku tepla o měrném objemu vztáženém k celkové ploše apertury	$[\text{l.m}^{-2}]$	≥ 45	≥ 45

Tab. 4.3: Požadavky na fotovoltaické systémy v podoblasti podpory C.3.3 [11]

Sledovaný parametr	Označení [Jednotky]	C.3.3
Minimální pokrytí potřeby tepla na přípravu teplé vody	[%]	50
Minimální měrný objem akumulčního zásobníku tepla vztahený k instalovanému výkonu solárního systému	[l.kWp ⁻¹]	≥ 80

Tab. 4.4: Požadavky na fotovoltaické systémy v podoblasti podpory C.3.4, C.3.5, C.3.6, C.3.7 [11]

Sledovaný parametr	Označení [Jednotky]	C.3.4	C.3.5	C.3.6	C.3.7
Celkový využitelný zisk	$Q_{ss,u}$ [kWh.rok ⁻¹]	≥ 1 700	≥ 1 700	≥ 3 000	≥ 4 000
Minimální míra využití vyrobené elektřiny pro krytí spotřeby v místě výroby	[%]	70	70	70	70
Akumulace přebytků energie do teplé vody	-	Povinná	Možná	Možná	Možná
Minimální měrný objem zásobníku teplé vody nebo akumulční nádrže	[l.kWp ⁻¹]	80 ¹⁾	-	-	-
Akumulace přebytků energie do elektrických akumulátorů	-	Možná	Povinná	Povinná	Povinná
Minimální měrná kapacita akumulátorů	[kWh.kWp ⁻¹]	-	1,75/1,25	1,75/1,25	1,75/1,25

1) popř. minimálně 120 litrů celkem, viz podmínky pro podoblast podpory C.3.4

5. Energetický zákon ČR

Energetický zákon (č. 458/2000 Sb), v celém znění zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), je základní právní normou energetického odvětví, která nabyla účinnost dne 1. 1. 2001. Za dobu své účinnosti prošel významnými novelizacemi, které souvisely především s vývojem celého energetického sektoru a s povinností ČR jako státu EU implementovat do právního řádu předpisy Evropské unie.

Mimo to definuje základní podmínky pro podnikání v energetických odvětvích, kterými se pro účely tohoto zákona rozumí elektroenergetika, plynárenství a teplárenství, a související práva a povinnosti jednotlivých podnikajících osob.

Zákon je rozdělen v základě na dvě významné části. Jedná se o část obecnou, která je společná všem třem výše jmenovaným energetickým odvětvím, a část zvláštní, ve které jsou jmenovány specifické normy pro každé energetické odvětví zvlášť.

Pro veřejnou správu je klíčové, že energetickým zákonem se zřizuje Energetický regulační úřad. V tomto zákoně jsou zakotveny i základní práva a povinnosti energetického regulačního úřadu k jednotlivým účastníkům trhu a státu.

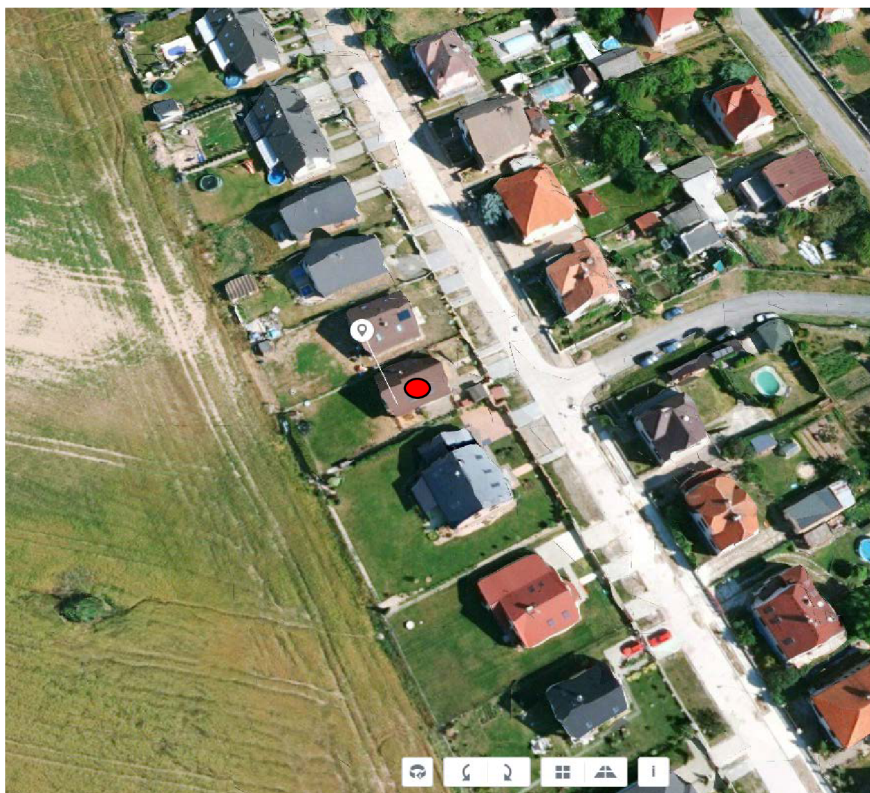
Pro naše potřeby je nejdůležitější paragraf (§ 3) s názvem **Podnikání v energetických odvětvích** odstavec (3), kde je řečeno: *Podnikat v energetických odvětvích na území České republiky mohou za podmínek stanovených tímto zákonem osoby pouze na základě licence udělené Energetickým regulačním úřadem. Licence se dále vyžaduje na výrobu elektřiny ve výrobnách elektřiny s instalovaným výkonem nad 10 kW určené pro vlastní spotřebu zákazníka, pokud je výrobná elektřiny propojena s přenosovou soustavou nebo s distribuční soustavou, nebo na výrobu elektřiny vyrobenou ve výrobnách elektřiny s instalovaným výkonem do 10 kW včetně, určené pro vlastní spotřebu zákazníka, pokud je ve stejném odběrném místě připojena jiná výrobná elektřiny držitele licence. [18]*

Jak plyne z tohoto zákona i z podmínek programu Nová Zelená Úsporám, část: C.3 - Instalace solárních termických a fotovoltaických (FV) systémů -> maximální instalovaný výkon fotovoltaického systému nesmí být vyšší než 10 kWp, tím pádem můžeme provozovat FV systém bez nutnosti licence.

6. Analýza vhodnosti objektu pro instalaci fotovoltaického systému

6.1 Lokalita rodinného domu

Rodinný dům se nachází v obci Tři Dvory, která leží na silnici č. 322 přibližně 4km od Kolína. Samotný dům má adresu: Tři Dvory 353, přesné GPS souřadnice jsou: 50.0293836N, 15.2531767E. Poloha domu a sousední domy jsou vidět na Obr. 6.1 níže. Dům je označen červenou tečkou na střechě. Orientace střechy je na jiho-východ, to je výhoda v ranních hodinách, kdy slunce vychází na horizont a začíná svítit, tím pádem máme dřívější svit na FV systém. V ranních hodinách také začíná domácnost fungovat tzn. vaří se káva, pouští se na okamžik rádio atd. Díky natočení střechy a za předpokladu, že nemáme akumulční prvek, skvěle využijeme tento ranní svit pro částečné pokrytí spotřeby. Kdybychom měli orientaci pouze na jih, tak v ranních hodinách budeme generovat energii pouze z difuzního záření, minimálně z přímého záření a účinnost systému by byla velice malá. Tudíž by bylo nutné nakoupit větší procento energie ze sítě. Optimální řešení by bylo umístit část panelů na východní stranu a další část na západní, tím pádem bychom si prodloužili využití slunečního záření až do pozdních hodin a to bez použití akumulátorů.



Obr. 6.1: Lokalita domu [12]

Informace o pozemku a stavbě získané z katastru nemovitosti (viz Obr. 6.2). Jedná se o dvoupatrový rodinný dům, v kterém žijí dva dospělí a jeden novorozenec, celková užitná plocha domu je 131 m². Detailní pohled na parcelu (viz Obr. 6.3).

Parcelní číslo:	st. 455
Obec:	Tři Dvory [533769]
Katastrální území:	Tři Dvory [770809]
Číslo LV:	655
Výměra [m ²]:	83
Typ parcely:	Parcela katastru nemovitostí
Mapový list:	GUST2880.V.S.XI-16-15
Určení výměry:	Ze souřadnic v S-JTSK
Druh pozemku:	zastavěná plocha a nádvoří



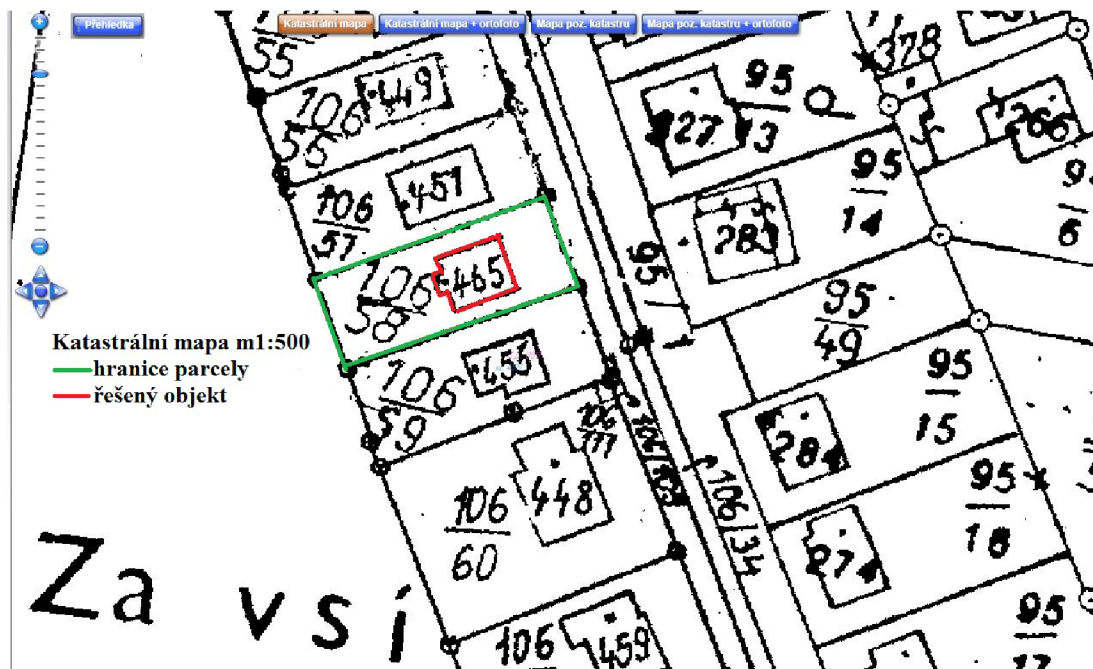
Číslo popisná nebo evidenční:	353
Typ:	budova s číslem popisným
Způsob využití:	rodinný dům

Způsoby ochrany:

Technicko-ekonomické atributy:

Datum dokončení:	27.02.2017	Druh svislé nosné konstrukce:	Cihly, tvárnice, cihlové bloky
Počet bytů:	1	Připojení na vodovod:	S vodovodem
Zastavěná plocha [m ²]:	83	Připojení na kanalizační síť:	Připoj na kanalizační síť
Obestavěný prostor [m ³]:	562	Připojení na rozvod plynu:	Plyn z veřejné sítě
Podlahová plocha [m ²]:	131	Způsob vytápění:	Centrální domovní (kotel ve stavbě)
Počet podlaží:	2	Vybavení výtahem:	Bez výtahu
Počet vchodů:			

Obr. 6.2: Informace o pozemku [13]



Obr. 6.3: Katastrální mapa [13]

6.2 Fotky domu a okolí

V přední části domu se nachází příjezdová cesta od hlavní silnice. V zadní části domu je malá zahrada s přístupem do pole. Ze severní i jižní strany dům sousedí s dalšími obytnými domy



Obr. 6.4: Přední část domu



Obr. 6.5: Zadní část domu



Obr. 6.6: Pohled na sousední dům ze severní strany



Obr. 6.7: Pohled na sousední dům z jižní strany

Při návrhu fotovoltaického systému musíme brát v potaz možnost stínění okolními domy, proto se musí v návrhovém modelu zahrnout do simulace i okolní stavby pro co nejpřesnější výsledky. Možnost simulace stavby a okolí umožňuje software PVSol od společnosti Valentin software, který bude popsán níže.

6.3 Spotřebiče elektrické energie v domácnosti

V rodinném je instalovaný plynový *Kondenzační kotel Protherm Panther Condens 12 KKO spolu s (ohřivačem vody s výměníkem tepla 60l)*, který slouží pro podlahové vytápění a zároveň pro ohřev teplé vody. V souhrnné tabulce budou uvedeny typické spotřebiče v domácnosti bez ohledu na spotřebu elektrické energie kotlem, neboť ta se v průběhu roku mění v závislosti na potřebě vytápění a ohřevu teplé vody.

Tab. 6.1: Spotřeba elektrické energie

Spotřebič	Množství	Příkon [W]	Denní provoz (odhad) [h]	Denní spotřeba [Wh]
Lednice	1	110	24	500
Pračka	1	800	2	1600
Myčka	1	1100	2	2200
Televize	1	180	4	720
Notebook	1	70	5	350
LED Žárovky 5W	20	100	5	500
Ostatní spotřebiče	-	1000	1	1000

Dle orientačních propočtů vychází denní spotřeba 6,87 kWh, měsíční 212,3 kWh a roční 2555,6 kWh.

Na základě sdělených informací od rodiny by celková denní spotřeba domácnosti měla činit přibližně 6,87 kWh, což je ale pouze přibližná a odhadovaná hodnota, neboť musíme brát v potaz, že denní provoz spotřebičů je pouze odhadem majitelů domu. Další věcí je, že spotřebiče mají sice udávaný určitý příkon, nic méně nesmíme zapomínat, že jejich celková reálná spotřeba může kolísat dle potřeby, jako je tomu například u pračky či sušičky prádla, dle zvoleného programu a proto celková spotřeba elektrické energie může být odlišná.

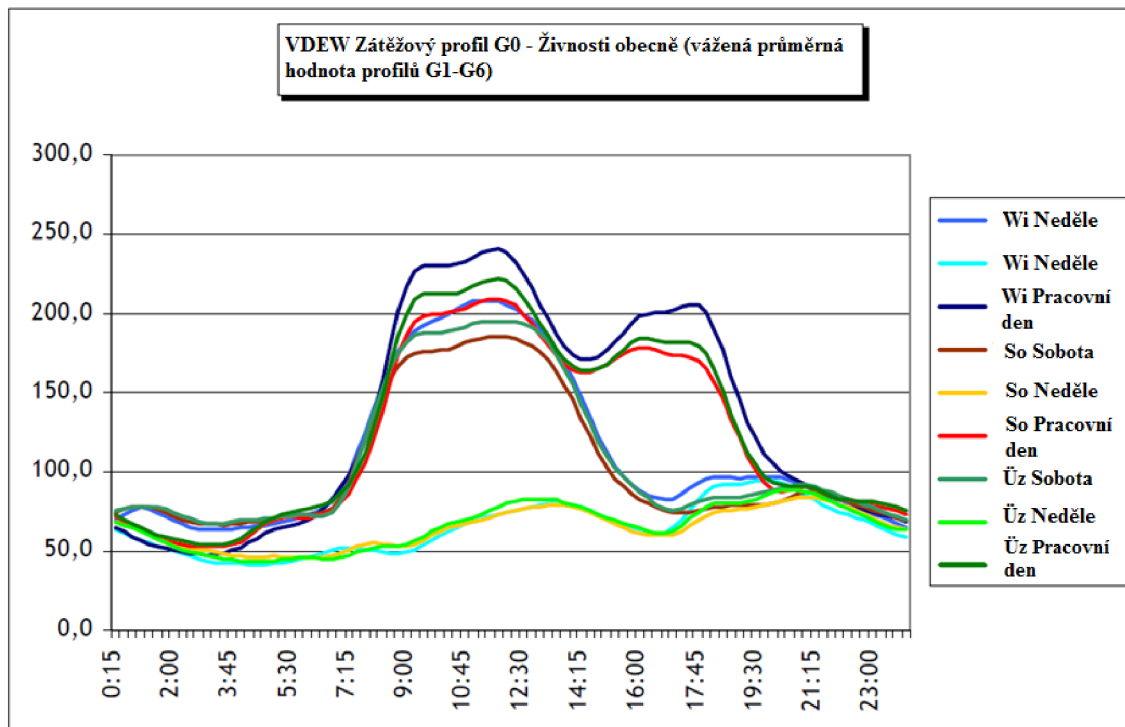
6.4 Energetický profil domácnosti

Znalostí standardních zátěžových profilů a prognózy roční spotřeby může provozovatel distribuční sítě sestavit předpověď potřeby energie a výkonu úseku sítě. Díky znalosti těchto profilů, lze také optimalizovat návrh FV systému a zvolit správnou volbu systému. VDEW rozlišuje 12 standardních zátěžových profilů, viz. Tab. 6.2. Příklad dvou profilů je na Obr. 6.8 a Obr. 6.9.

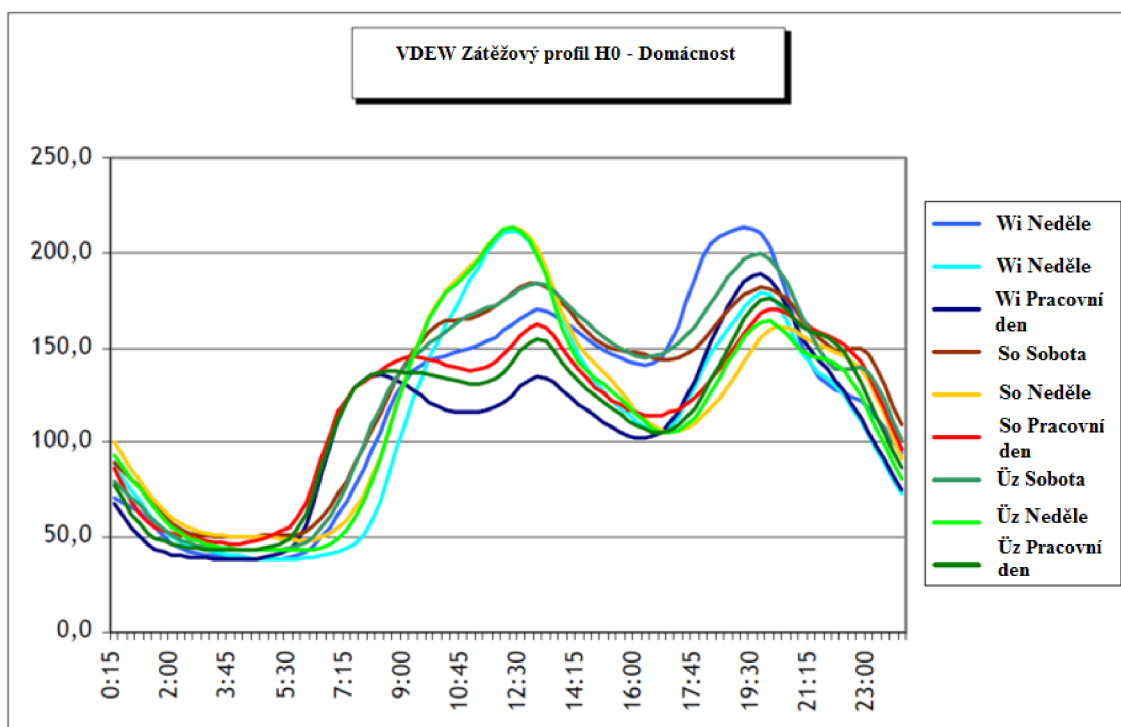
Tab. 6.2: Standartní zátěžové profily [14]

Typ profilu	Specifikace
G0	Živnosti obecně (vážená průměrná hodnota profilů G1-G6)
G1	Živnosti činné v pracovní dny 8-18 hodin (např. kanceláře, lékařské ordinace, dílny, správní zařízení)
G2	Živnosti se silnou až převážnou spotřebou ve večerních hodinách (např. sportovní kluby, fitness studia, hostince s večerním provozem)
G3	Živnosti nepřetržité (např. chladírny, čerpadla, čističky)
G4	Prodejny / kadeřnictví
G5	Pekařství s pekárnou
G6	Víkendový provoz
G7	Základnová stanice (BTS) - (pásmový zátěžový profil)
L0	Zemědělské provozy obecně (vážená průměrná hodnota profilů L1 a L2)
L1	Zemědělské provozy s mlékárenstvím /s vedlejším výtěžným chovem dobytka
L2	Ostatní zemědělské provozy
H0	Domácnost

Užitečné referenční zátěžové profily nabízí VDI 4655 (VDI 4655 Referenční zátěžovací profily jednopodlažních a vícepodlažních domů pro použití kogeneračních zařízení). Obecné zjištění zátěžového profilu je možné měřením. Měření by nemělo být příliš krátké, ideálně by mělo probíhat po dobu jednoho roku. Interval měření by měl být pokud možno sekundový, minimálně by měl snímat minutové hodnoty. Obecně je vhodné použití dimenzovacích nástrojů výrobců zásobníků nebo uznávané simulační programy.



Obr. 6.8: Zátěžový profil G0 [14]



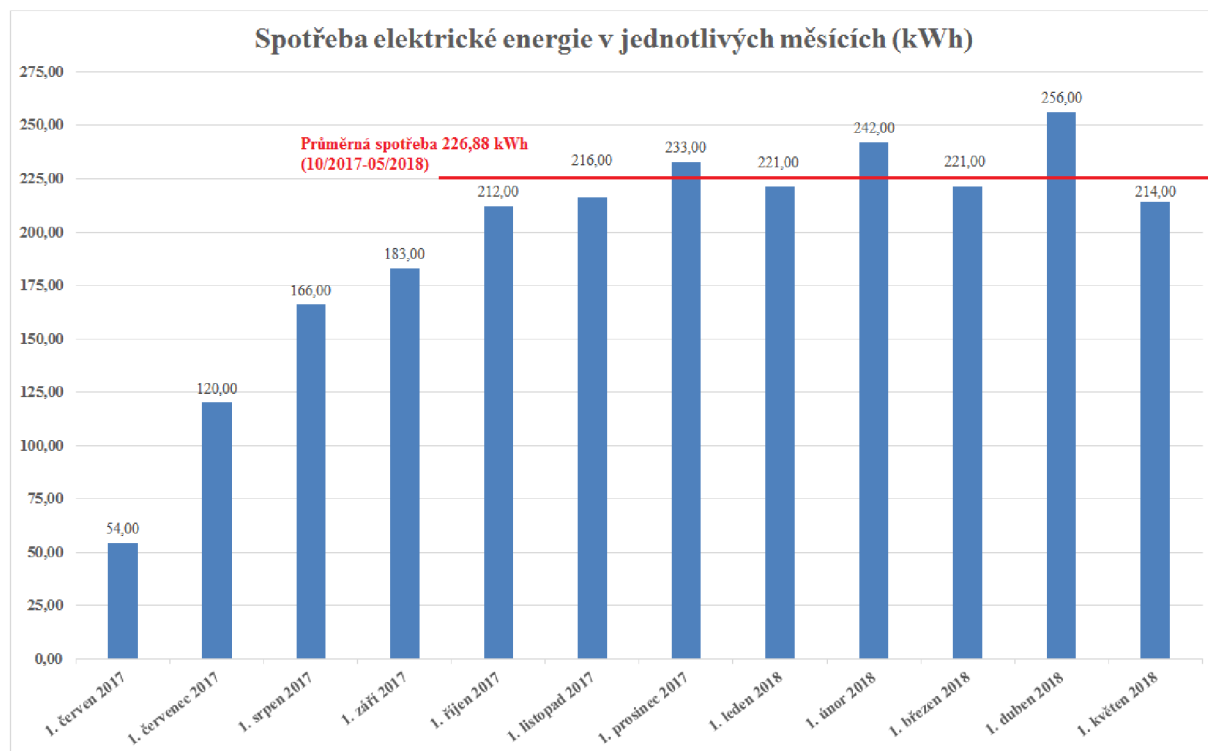
Obr. 6.9: Zátěžový profil H0 [14]

V našem případě je spotřeba v domě monitorována a to optickým odečtem z hodin elektroměru každých 5 min, avšak denní spotřeba energie není velká, tudíž jsou brány hodnoty odečtu každou hodinu. Naše metoda měření nebyla ta nevhodnější, lépe vypovídající by bylo využít impulzního měření.

Majitelé se do domu nastěhovali během května roku 2017. Z Tab. 6.3 je patrné, že spotřeba průběžně vzrůstala, tím, jak se majitelé domu zabydlovali. Nyní po zabydlení tato hodnota osciluje mezi 210 a 250 kWh za měsíc, průměrná hodnota spotřeby, která je vypočtena za období (říjen 2017) až (květen 2018) je 226,88 kWh, tato hodnota je také vyznačena na Obr. 6.10. Pro výpočet byly vynechány první měsíce, kdy spotřeba energie nebyla odpovídající vzhledem k zabydlování, nyní s nadsázkou můžeme říci, že spotřeba energie v domě je téměř konstantní.

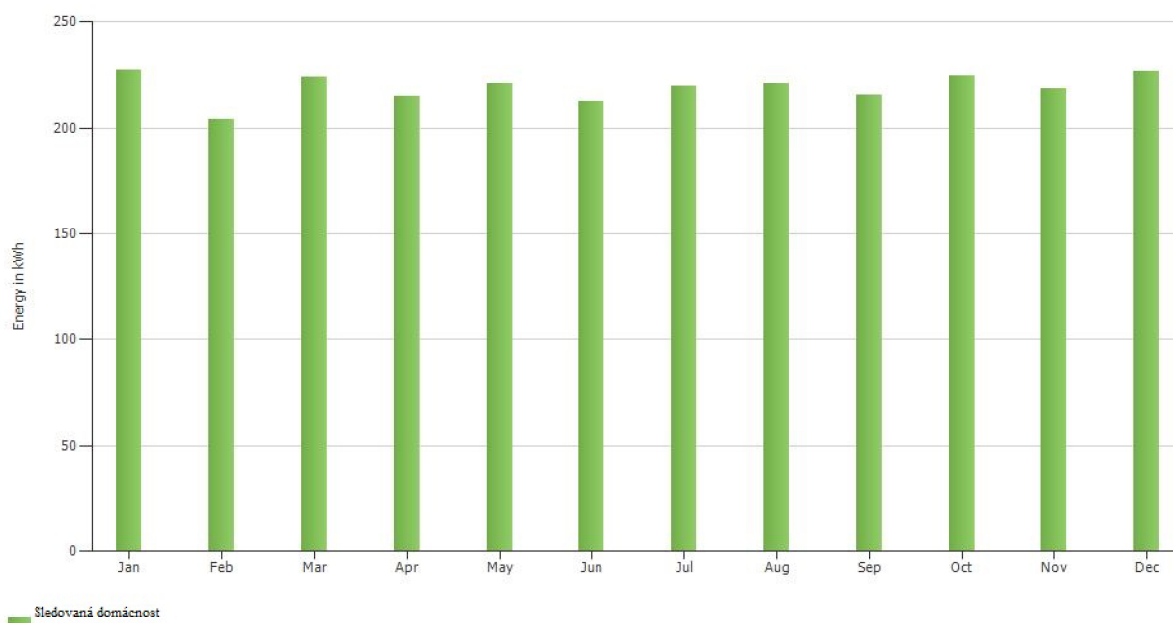
Tab. 6.3: Měsíční spotřeba energie v kWh

Datum:	Spotřeba (kWh)	Měsíční rozdíly spotřeby Δ (kWh)
1. květen 2017	11658	0,00
1. červen 2017	11712	54,00
1. červenec 2017	11832	120,00
1. srpen 2017	12056	166,00
1. září 2017	12213	183,00
1. říjen 2017	12393	212,00
1. listopad 2017	12609	216,00
1. prosinec 2017	12842	233,00
1. leden 2018	13063	221,00
1. únor 2018	13305	242,00
1. březen 2018	13526	221,00
1. duben 2018	13782	256,00
1. květen 2018	13996	214,00



Obr. 6.10: Spotřeba elektrické energie v jednotlivých měsících (Stav elektroměru)

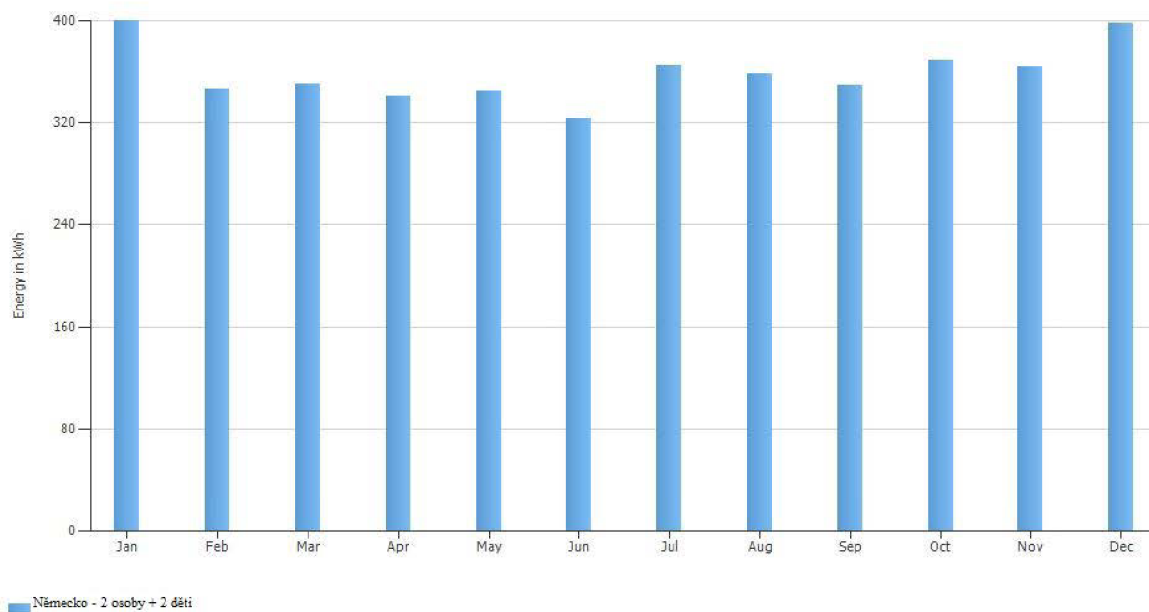
Z naměřených hodnot měsíční spotřeby vyplývá, že celková spotřeba energie v domácnosti není vysoká. Tento fakt lze porovnat se standartními profily spotřeby z německých rodin, kde budeme uvažovat rodiče – (otec a matka) v kombinaci s jedním či dvěma dětmi. Porovnání spotřeby naší rodiny oproti kombinaci dvou německých rodin s jedním či dvěma dětmi lze vidět na Obr. 6.14.



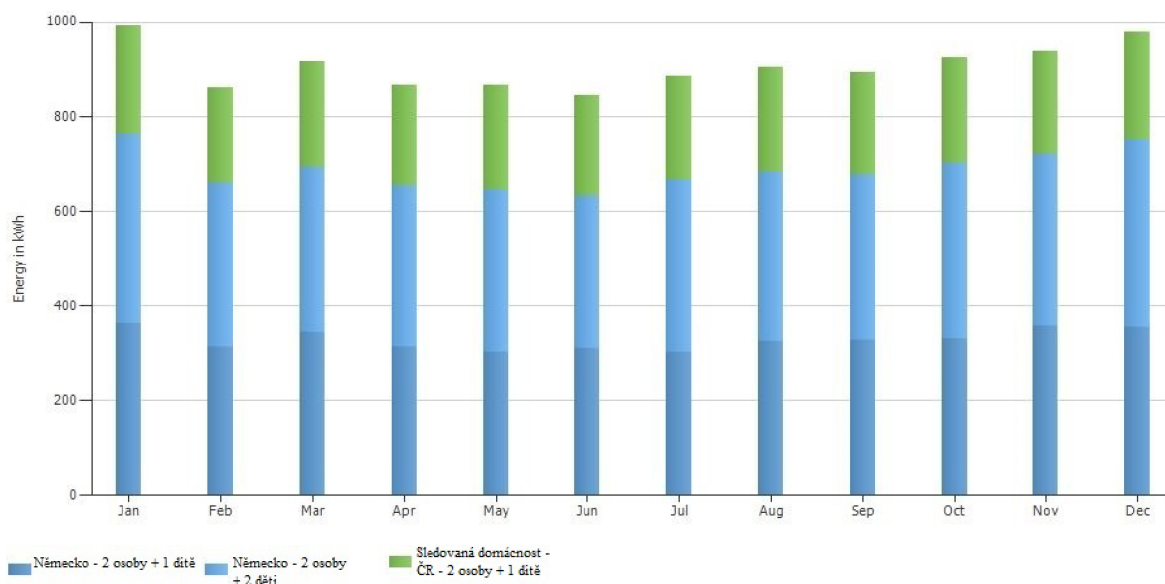
Obr. 6.11: Měsíční spotřeba energie ve sledované domácnosti – ČR – 2 osoby + 1 dítě



Obr. 6.12: Měsíční spotřeba energie – Německo – 2 osoby + 1 dítě



Obr. 6.13: Měsíční spotřeba energie – Německo – 2 osoby + 2 děti



Obr. 6.14: Porovnání spotřeby el. energie – Zelená (Sledovaná domácnost ČR – 2 osoby + 1 dítě), Tmavě modrá (Německo – 2 osoby + 1 dítě), Světle modrá (Německo – 2 osoby + 2 děti)

Pokud se podrobněji podíváme na jednotlivé obrázky měsíční spotřeby, zjistíme, že německá rodina o dvou osobách a jednom dítěti má výrazně vyšší roční spotřebu energie, než-li námi sledovaná stejnočlenná rodina. To může být zapříčiněno mnoha faktory, jako je například nízký věk členů rodiny, nižší finanční příjem, rozdílné životní úrovně, menší zařízenost domu a další. Všechny tyto faktory více či méně ovlivňují výsledné nároky na spotřebu elektrické energie v domě. Pro úplnost, typická německá rodina o dvou osobách a dvěma dětmi má roční spotřebu elektrické energie okolo 4308 kWh, německá rodina o dvou osobách a jedním dítěti má roční spotřebu elektrické energie okolo 3929 kWh a naše sledovaná domácnost má roční spotřebu okolo 2700 kWh. Hodnoty spotřeb v Německu jsou předdefinované návrhovým programem PVSol. Naše hodnota spotřeby je uvedena na základě měření.

6.5 Měření spotřeby elektrické energie v ČR

Do roku 2011 se v Česku používalo součtové měření spotřeby elektrické energie tak, jako s výjimkou Slovenska v celé Evropě. S rozvojem malých energetických zdrojů, především solárních elektráren na střeších rodinných domů, však distribuční společnosti prosadily u Energetického regulačního úřadu změnu měření elektřiny: ta se od roku 2011 namísto součtově, měří po jednotlivých fázích. Tato zdánlivě nevýznamná změna může mít dramatické dopady na rentabilitu malých solárních elektráren.

Pro zájemce o pořízení solární elektrárny to znamená nutnost pečlivě celý systém naplánovat. Negativům měření spotřeby po fázích se totiž dá do velké míry vyhnout. A to buď pomocí řešení jednofázových, která vyžadují úpravu rozložení spotřebičů na jednotlivých fázích, nebo prostřednictvím systémů s asymetrickým střídačem.

Laik by si řekl, že čím víc elektřiny solární elektrárna vyrobí, tím víc její majitel ušetří. Sice bude pořád platit za elektřinu – protože domácí solární elektrárny zpravidla nejsou dimenzovány tak, aby pokryly veškerou spotřebu domácnosti – ale od elektřiny, kterou domácnost spotřebuje, se odečte ta, kterou vyprodukuje elektrárna. Takto jednoduše to v některých zemích opravdu funguje, ale bohužel ne u nás. Při měření po fázích totiž distribuční společnosti účtují zákazníkům nikoli celkové saldo spotřebované a vyrobené elektřiny, ale počítají saldo na každé ze tří fází.

6.5.1. Porovnání jednotlivých způsobů měření

Rozdíly mezi oběma typy měření, součtového a po fázích, je možné ilustrovat na zjednodušeném příkladu:

Elektřinu vyrábí solární elektrárna s roční výrobou 5200 kWh, která včetně baterie po odečtení dotace majitele přišla na 314 tisíc korun. Při uvažované dvacetileté životnosti vyrobí celkem 104 tisíc kWh; výroba jedné vyrobené kilowatthodiny tedy vychází na 3,02 Kč. Co se týče spotřebované energie, budeme počítat s cenou 3,86 Kč/kWh (průměrná cena elektřiny, 24. 11. 2017). Budeme také počítat s tím, že přebytečnou energii distribuční společnost vykupuje za 0,40 Kč/kWh. (Jde o cenu za odkup, kterou jako na českém trhu jako první přinesla společnost S-POWER ve spolupráci s Bohemia Energy. Není to však běžná cena a řada distribučních společností za tzv. přetoky neplatí vůbec, nebo jen mizivé částky.)

V našem příkladu počítáme s tím, že solární elektrárna v daném okamžiku vyrábí 3 kW a zároveň máme celkovou spotřebu ve stejné výši – z toho 2 kW na 1. fázi a 1 kW na 2. fázi. Zatímco na 3. fázi nemáme žádnou spotřebu, ale pouze vyráběný 1 kW. Podívejme se, co různé způsoby měření udělají s náklady domácnosti na energii.

6.5.1.1. Součtového měření

V případě součtového měření by to bylo jednoduché: už samotný měřicí přístroj by započtl vyráběné 3 kW proti spotřebovávaným 3 kW a výsledná spotřeba by byla nulová. Celkovým výsledkem by tedy bylo v danou chvíli dokonalé využití solární elektrárny, a to dokonce bez využití baterií. Jak bylo uvedeno, tento scénář je v současné době v Česku bohužel nedosažitelný, protože součtové měření bylo nahrazeno měřením po fázích.

6.5.1.2. Měření po fázích

V případě měření po fázích je důležité, zda má elektrárna moderní asymetrický střídač, nebo tradiční symetrický. Současně hraje velkou roli, podle které fáze měříme. Jde o to, že řešení se symetrickým střídačem „posílá“ energii rovným dílem do všech tří fází – zatímco informace o poměrech v celém systému získává jen z jedné fáze. Je zřejmé, že takové řešení nemůže fungovat optimálně.

6.5.2. Asymetrický střídač

Kombinace měření po fázích a symetrického střídače neumožňuje využít výhody solární elektrárny a z baterie dokonce dělá ekonomickou katastrofu. Jednotlivé popsané varianty se liší jen tím, jak moc jsou nevýhodné.

Při měření spotřeby po fázích je nutné použít střídač asymetrický, který reguluje každou fázi samostatně; to znamená, že umí do každé fáze „posílat“ jiný výkon. V našem modelovém případě by asymetrický střídač rozdělil výrobu 3 kW do jednotlivých fází tak, aby minimalizoval spotřebu ze sítě.

Spotřeba a výroba (přesněji: přebytek, dosažený díky výrobě) se díky asymetrickému střídači vzájemně započtou a vznikne virtuální nula. Z pohledu vyúčtování od distribuční společnosti jde o nulu skutečnou, protože bychom v tomto zjednodušeném příkladu nic neplatili.

Háček ovšem spočívá v tom, že většinu používaných hybridních střídačů na českém trhu tvoří střídače symetrické. Důvod je jednoduchý: symetrické střídače jsou technologicky mnohem jednodušší, a tudíž levnější. Navíc zcela postačují pro podmínky součtového měření, evropskému (respektive německému) trhu plně vyhovují a jen kvůli malému českému trhu výrobci podobný produkt upravovat nebudou. [19]

7. Nástroje pro návrh fotovoltaických systémů

7.1 PV*SOL

PV*SOL je simulační program Německé společnosti Valentin Software GmbH, která tento software vyvíjí a prodává od roku 1998. Původně se společnost věnovala solárním termickým systémům, se kterými se společnost zabývala již od sedmdesátých let. Software je hojně využíván v Německu a stále více je oblíben také v zahraničí.

PV*Sol je pomocníkem při návrhu a simulaci fotovoltaických elektráren jakékoliv velikosti. Využijí ho montážní firmy, projektanti a architekti k návrhu a posouzení jednodušších instalací na rodinných domech, nebo například energetičtí konzultanti a auditoři k návrhu zapojení a optimalizaci výnosů rozsáhlých fotovoltaických elektráren využívající systém Zelených bonusů nebo kombinaci Zelených bonusů a prodeje za výkupní cenu.

Pokud jsou v rámci jedné instalace použity různé typy panelů s rozlišnou orientací nebo sklonem, je nutné je rozdělit do různých polí. V rámci jednoho systému lze posuzovat až 6 takovýchto polí s různou charakteristikou panelů. Dalším nutným vstupem ke správnému výpočtu je zadání stínění okolními budovami, stromy, objekty na střeše a podobně, které je možné zadat pomocí 3D vizualizace. V případě kdy zatím nevíme, kolik panelů je možné instalovat na konkrétní střechu objektu, lze tuto střechu pouze vyfotit a fotku importovat do programu PV*Sol, ve kterém pomocí grafického výpočtu získáme představu o tom, kolik panelů je možné na střechu umístit. Projektanti a montážní firmy tak mohou pomocí této vizualizace ukázat svým zákazníkům, jak se změní vzhled jejich střechy na objektu po instalaci fotovoltaických panelů již v rané fázi projektu.

Po zadání všech vstupních údajů je možné spustit simulaci. Výsledkem je návrh několika variant optimálního zapojení panelů v rámci instalace – především typu a počtu měničů a stringování v rámci jednotlivých polí. Pokud například známe výrobce, jehož měniče chceme v systému použít, lze výběr optimálních variant zúžit na ty, ve kterých je tento typ měniče použit. Po výběru jedné varianty zapojení proběhne simulace znovu a získáme tak výsledné hodnoty produkce elektrické energie za rok, účinnosti systému, vliv stínění, optimální zapojení panelů do řetězců s uvažováním vlivu stínění a informaci, zda je zvolené zapojení panelů a měničů kompatibilní.

Výstupem výpočtu a simulace je zpráva, která může mít souhrnnou jednostránkovou podobu nebo být ve formě podrobného výpisu. Detailní zpráva shrnuje výsledky simulace, zapojení systému, 2D vizualizaci objektu s umístěním panelů a ekonomickou analýzu investice. Dalším výstupem je 3D vizualizace ve formě videa, pomocí které lze sledovat vliv stínění objektů na panely v jakémkoliv dni v roce.

7.2 PVGIS

Je online bezplatná solární fotovoltaická kalkulačka pro samostatně připojené nebo připojené fotovoltaické systémy do sítě a zařízení v Evropě, Africe a Asii. Solární generátor simulace elektrické energie a sluneční záření mapy. PVGIS je ideální bezplatný online nástroj pro odhad výroby solární elektřiny fotovoltaického (FV) systému. Poskytuje roční výstupní výkon solárních fotovoltaických panelů. Jako fotovoltaický geografický informační systém navrhuje aplikaci googlemap, která usnadňuje její použití. Oblastem pokryté kalkulačkou je Evropa Asie a Afrika. Tato aplikace vypočítává měsíční a roční potenciální výrobu elektřiny E [kWh] fotovoltaického systému s definovaným nakláněním a orientací modulů. PVGIS je k dispozici pouze online, v angličtině, italštině, francouzštině, španělštině a němčině. Tuto solární fotovoltaickou kalkulačku poskytuje JRC (Joint Reseach Center) z interních vědeckých služeb Evropské komise. Jeho vzhled je zobrazen níže na Obr. 7.1.

The screenshot displays the PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) web interface. At the top, it features logos for JRC and CM SAF, along with the title 'Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps'. A navigation bar includes 'EUROPA > EG > JRC > DIR-C > RE > SOLAREC > PVGIS > Interactive maps > europe', a 'Contact' link, and an 'Important legal notice' link. The main interface is divided into a map area on the left and a configuration panel on the right. The map shows Europe with a cursor positioned at 37.927, 22.236. The configuration panel, titled 'Performance of Grid-connected PV', includes tabs for 'PV Estimation', 'Monthly radiation', 'Daily radiation', and 'Stand-alone PV'. It allows users to select a radiation database, PV technology (currently 'Crystalline silicon'), and installed peak PV power (set to 1 kWp). It also displays 'Estimated system losses [0;100] 14 %'. Under 'Fixed mounting options', users can choose a mounting position (currently 'Free-standing') and set slope and azimuth angles. 'Tracking options' include checkboxes for 'Vertical axis', 'Inclined axis', and '2-axis tracking', each with a slope input field and an 'Optimize' checkbox. 'Output options' include checkboxes for 'Show graphs', 'Show horizon', 'Web page' (selected), 'Text file', and 'PDF'. A 'Calculate' button and a '[help]' link are at the bottom of the panel.

Obr. 7.1: Online prostředí PVGIS [15]

8. Návrh fotovoltaického systému

Při návrhu našeho systému musíme počítat s tím, že celková denní spotřeba energie není příliš vysoká. Průměrná denní spotřeba je okolo 7 kWh, průměrná měsíční hodnota dosahuje 230 kWh a celková roční spotřeba vychází na zhruba 2600 kWh. Výše uvedené data vychází z naměřených hodnot, nicméně je nemůžeme brát za jednoznačné a musíme počítat s tím, že spotřeba energie v domácnosti se v průběhu roku mění podle počasí, denních potřeb obyvatel, pracovní vytíženosti a bude se měnit i do budoucna.

V české republice nepanuje trvale stejné podnebí, ale střídají se čtyři roční období, musíme počítat s tím, že se bude měnit množství vyrobené elektrické energie z FV systému. Hlavně v prvních třech měsících roku a posledních třech, je snížena produkce elektrické energie a tudíž je nutné odebírat elektrinu ze sítě.

8.1 Porovnání předpovědi software PVGIS a PVSOL

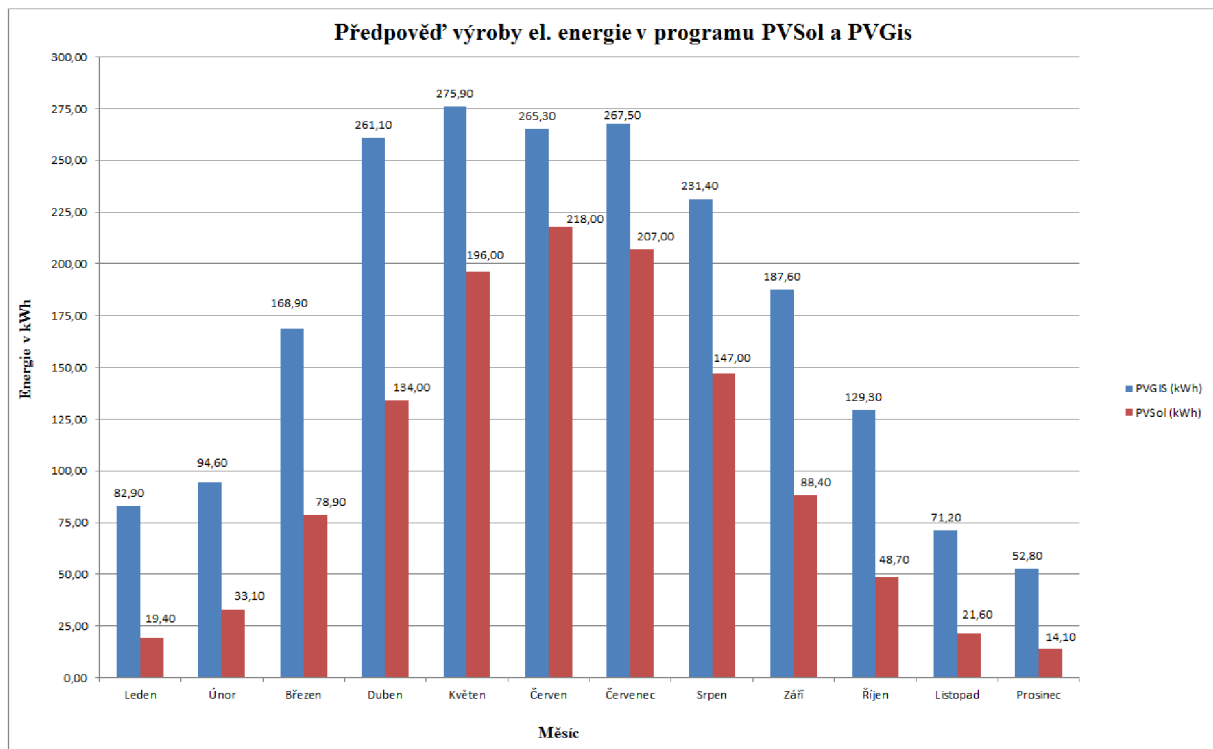
Pro zjištění přibližných výsledků roční výroby energie FV systému jsou porovnány výsledky dvou nezávislých systémů a to PVGIS a PVSOL, které byly zmíněny výše, PVGIS spadá pod JRC (Joint Research Center) z interních vědeckých služeb Evropské komise a jeho databáze není pravidelně aktualizována či nijak spravována, jedná se pouze o bezplatnou online aplikaci. Zatímco PVSOL využívá veškeré aktuální dostupné data z meteorologických a klimatologických stanic po celém světě a dokáže tak velice přesně odhadnout vygenerované množství elektrické energie v průběhu celého roku.

V obou programech jsme zadali totožné údaje FV systému a to technologii a výkon, tedy polykrystalické panely s celkovým instalovaným výkonem 2,04 kWp, které jsou integrovány do střechy. Sklon střechy je 40 stupňů, azimut 156 stupňů. Výsledná data jsou v Tab. 8.1.

Tab. 8.1: Předpověď výroby el. energie v programu PVSOL a PVGIS

	PVSOL (kWh)	PVGIS (kWh)
Leden	82,90	19,40
Únor	94,60	33,10
Březen	168,90	78,90
Duben	261,10	134,00
Květen	275,90	196,00
Červen	265,30	218,00
Červenec	267,50	207,00
Srpen	231,40	147,00
Září	187,60	88,40
Říjen	129,30	48,70
Listopad	71,20	21,60
Prosinec	52,80	14,10

Z výsledků je patrné, že odhadované množství vyprodukované el. energie se v jednotlivých měsících značně liší. To může být dáno nejen nepřesnými meteorologickými a klimatickými modely, ze kterých jednotlivé programy čerpají, ale také dalším vnitřním nastavením proměnných v systému, které nemůžeme ovlivnit. Pro grafické porovnání, jsou hodnoty vyneseny do grafu, viz Obr. 8.1



Obr. 8.1: Předpověď výroby el. energie v programu PVSol a PVGIS

Na základě vygenerovaných hodnot, je zvolen program PVSol, jehož předpověď výroby energie je přesnější a lépe koresponduje s očekávanými hodnotami.

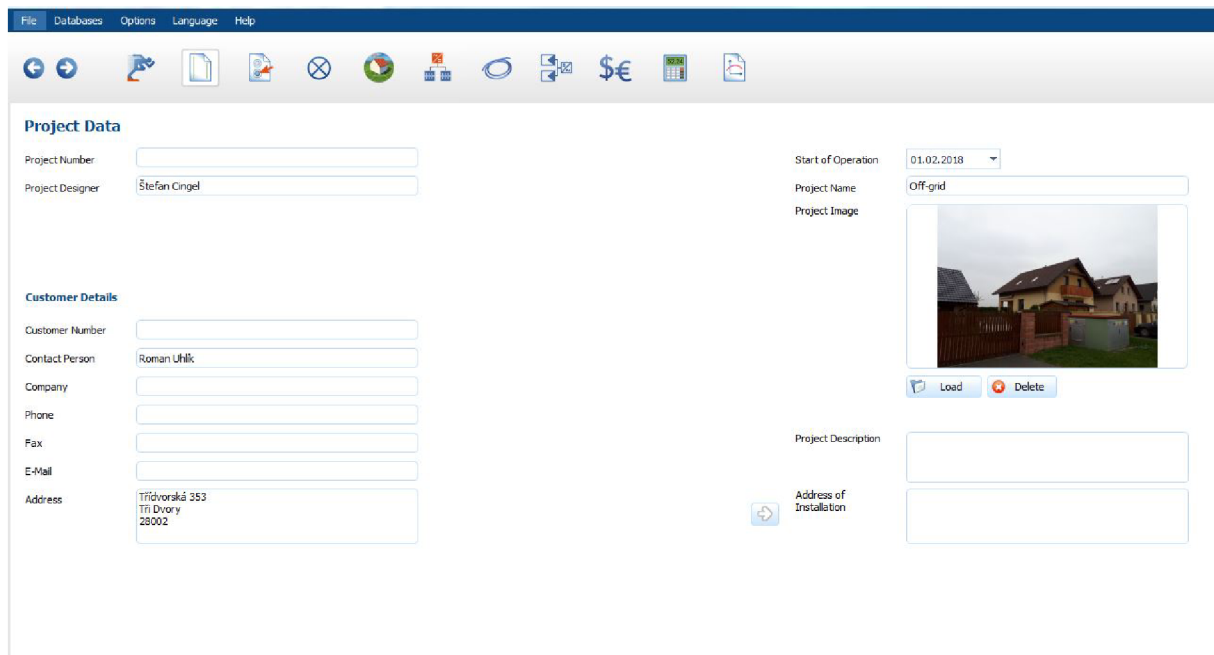
8.2 Návrh Off-grid systému

Celý projekt bude realizován v návrhovém programu PVSol. Hned na začátku se stanoví zásadní podmínky pro správný návrh, zjednodušení a optimalizaci celého projektu. Jelikož solární systém má být připojen na jednu fázi v domě, budeme uvažovat takový stav, že veškeré důležité spotřebiče, jsou elektrikářem připojeny na tuto zmíněnou fázi, díky čemu selepší využití energie a eliminuje se stav, kdy by byla dostupná elektřina z FV elektrárny, ale spotřebič by byl připojen na jiné fázi a tím pádem bychom zbytečně čerpali elektřinu ze sítě. Zároveň také přidáme akumulční prvky, pro ještě lepší využití energie a případné překlenutí vysokých nároků na spotřebu elektrické energie během noci.

Hned na první straně projektu s názvem „Project Data“ vyplníme všechny nezbytné informace o návrhu, jaké jsou:

- Název projektu
- Informace o zákazníkovi
- Informace o projektantovi
- Popis projektu
- Začátek návrhu

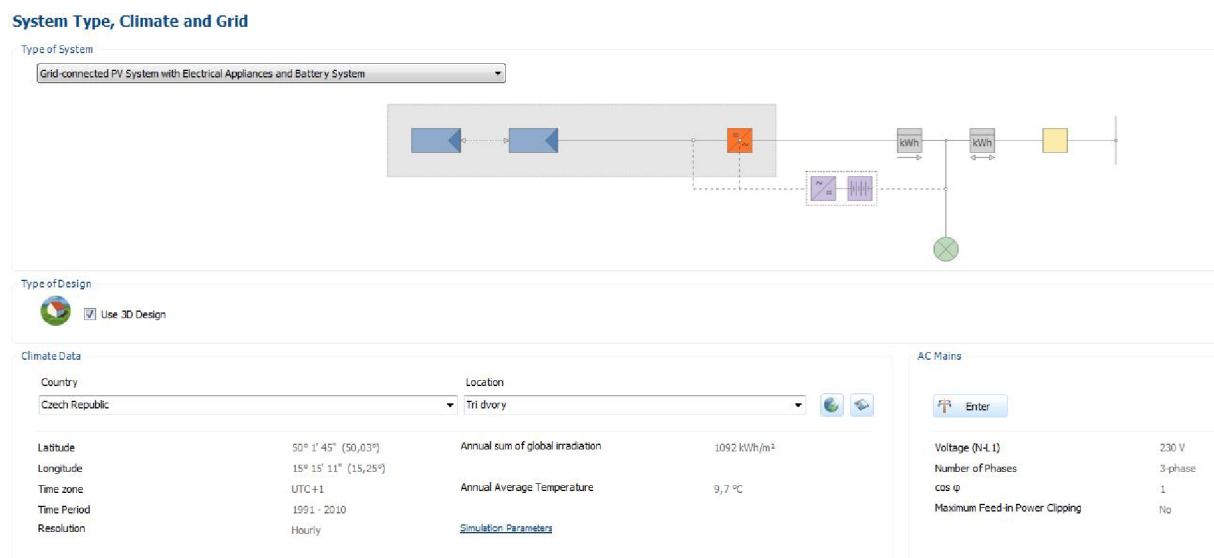
Jak taková vstupní stránka vypadá lze vidět na Obr. 8.2.



Obr. 8.2: PVSol – Stránka s názvem: Project data

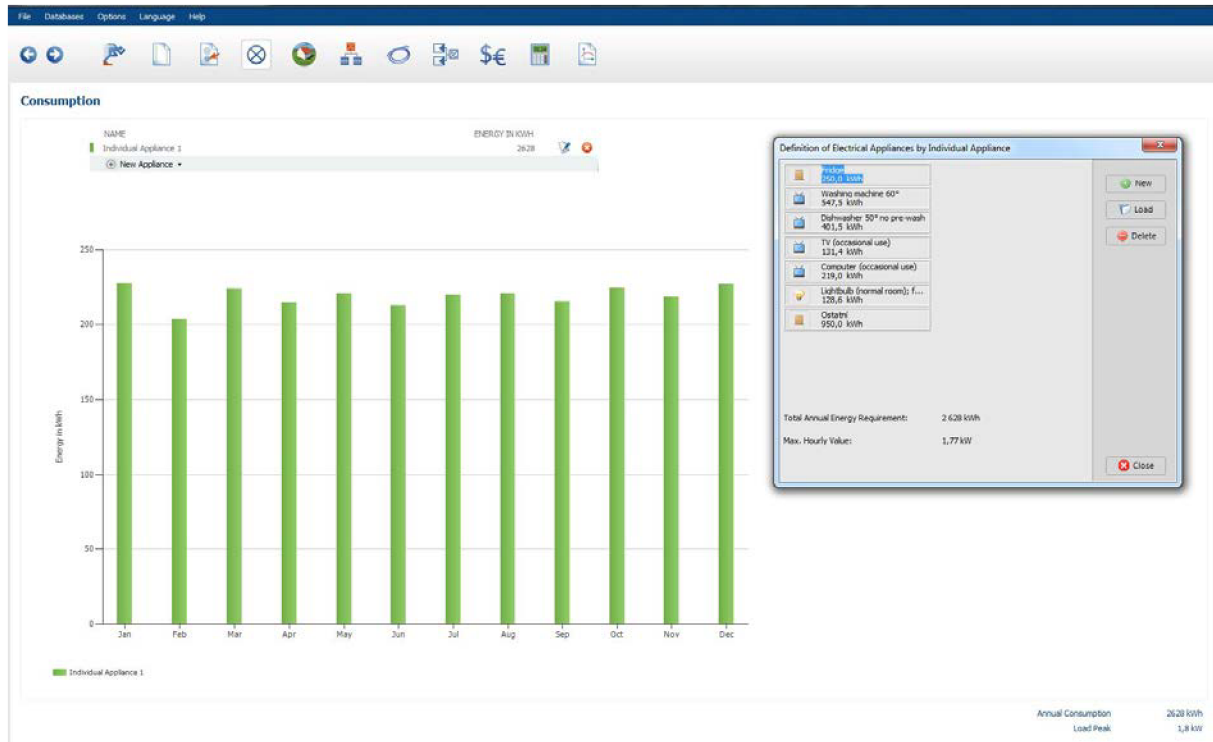
Druhá záložka slouží pro výběr druhu FV systému, upřesnění klimatických dat a druhu připojení k síti. V našem případě využijeme pro návrh položku: „Grid - connected PV systém with Electrical Appliances and Battery System“, což znamená, systém připojený k síti s elektrickými spotřebiči a bateriemi. Tento typ byl zvolen neboť samotný návrh Off-grid systému jako takového, je nesmírně náročný. V našem zjednodušení, bude možné mnohem snadněji realizovat projekt.

V části klimatické data lze přesně definovat polohu umístění FV systému a díky tomu zlepšit výsledné hodnoty získané energie ze slunce. Okamžitě se také ukazuje roční souhrn globálního ozařování, což činí v definované lokalitě 1092 kWh/m^2 a průměrnou roční teplotu, která je $9,7 \text{ }^\circ\text{C}$. V neposlední řadě lze definovat napájecí síť. Vše zmíněné lze vidět na Obr. 8.3.



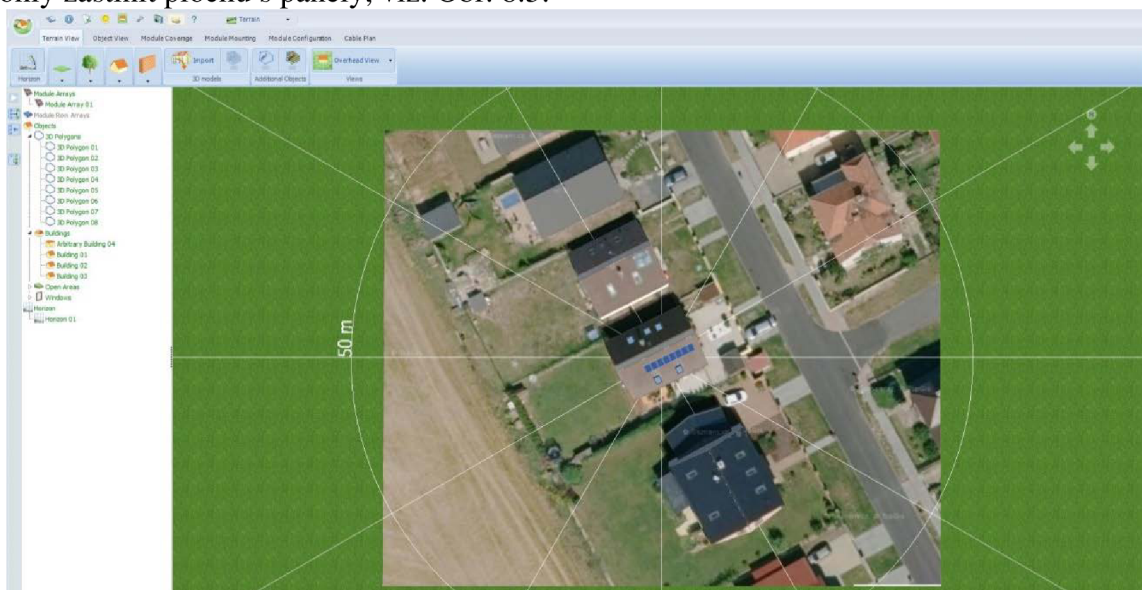
Obr. 8.3: PVSol – Stránka s názvem: Systém Type, Climate and Grid

Třetí záložka slouží k co nejpřesnějšímu určení spotřeby elektrické energie v domácnosti. Program umožňuje nahrát již předdefinované profily, či vytvoření vlastního. Pokud se vytváří vlastní profil, lze velice dobře zahrnout jednotlivé spotřebiče v domácnosti a jejich individuální spotřebu během dne. Program umožňuje u každého spotřebiče nastavit, zda-li je závislý na použití uživatele či nikoli a také jestli je využit jen krátkodobě nebo dlouhodobě a to ve stejných či rozdílných hodinách. Definice profilu je vidět na Obr. 8.4.



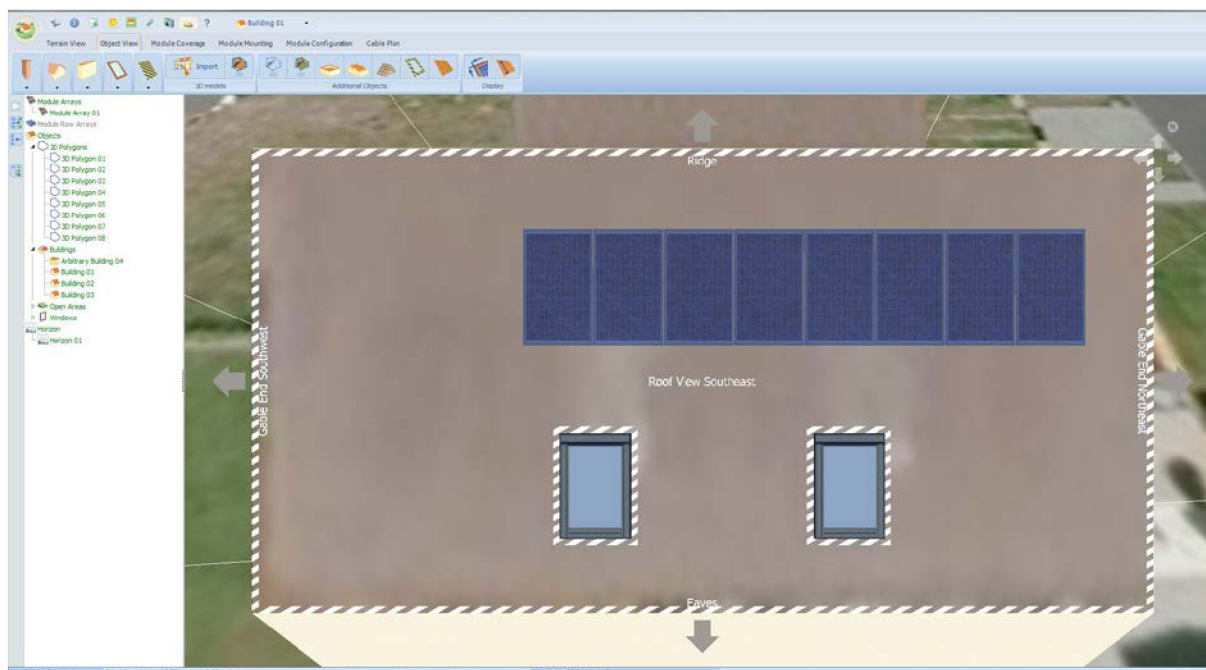
Obr. 8.4: PVSol – Stranka s názvem: Consumption

Čtvrtá záložka slouží pro kompletní 3D návrh celého systému. V této kartě lze kompletně namodelovat dům, mrakodrap či volně stojící elektrárnu. V podsložce s názvem „Terrain View“ se modeluje terén a celé okolí, včetně domů, stromů a jiných prvků, které by mohly zastínit plochu s panely, viz. Obr. 8.5.



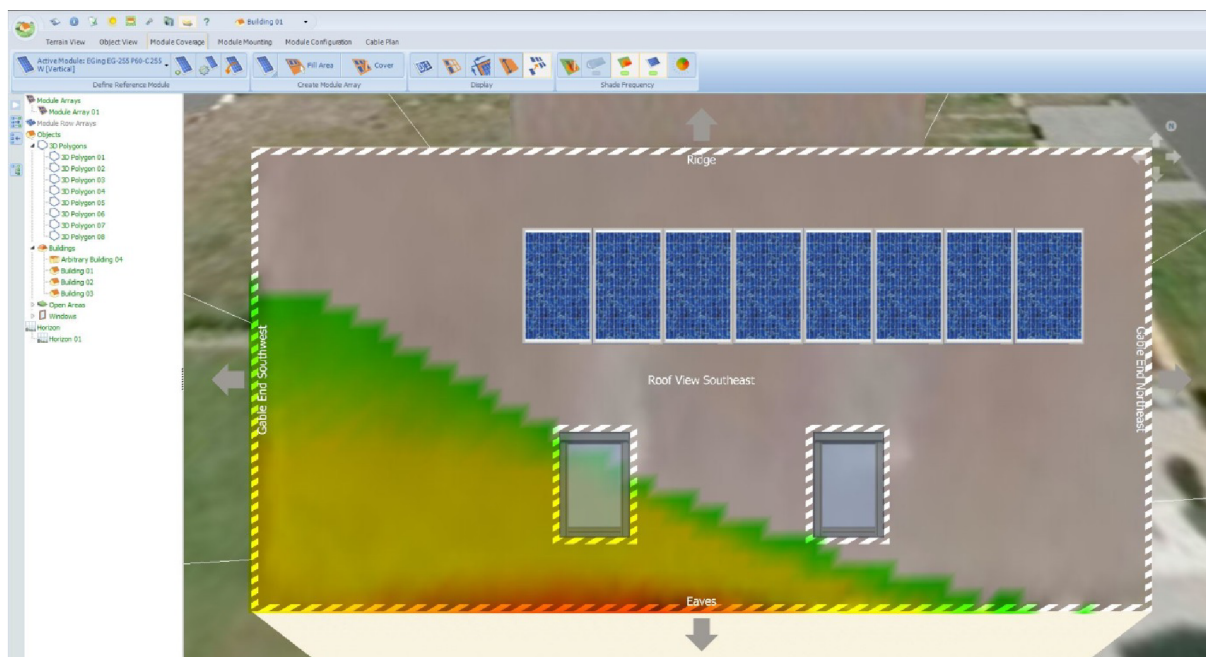
Obr. 8.5: PVSol – Podsložka - Terrain View

Pokud se přesuneme do podsložky „Obejt View“, máme možnost velice detailně navrhovat celý dům a potřebné prvky na střeše, jako jsou například okna, komín či hromosvod viz Obr. 8.6.



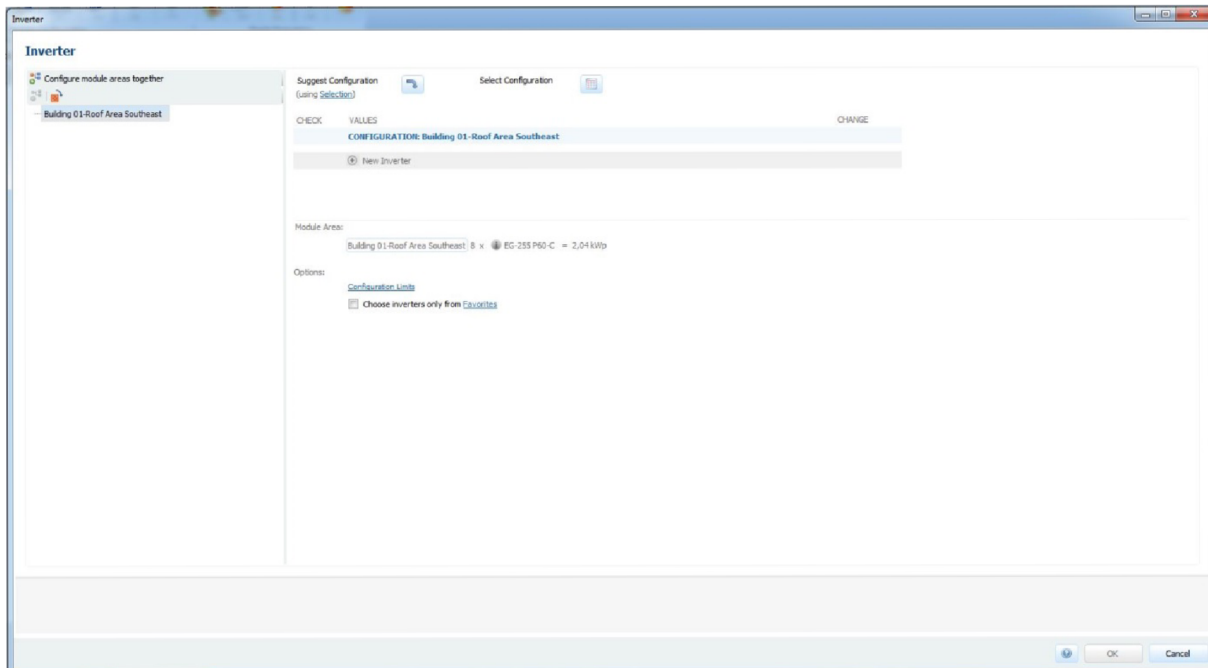
Obr. 8.6: PVSol – Podsložka - Object View

Ve vedlejší podsložce s názvem „Modul Coverage“, je možno vybrat vhodné panely, jejich umístění, fixaci a rozložení po definované ploše, mimo to lze provést simulaci rozložení stínu na střeše a tím se vyhnout nesprávnému umístění panelů na střechu. Pro návrh je zvoleno 8 kusů polykrystalických panelů značky EGING s celkovým výkonem 2,04 kWp.



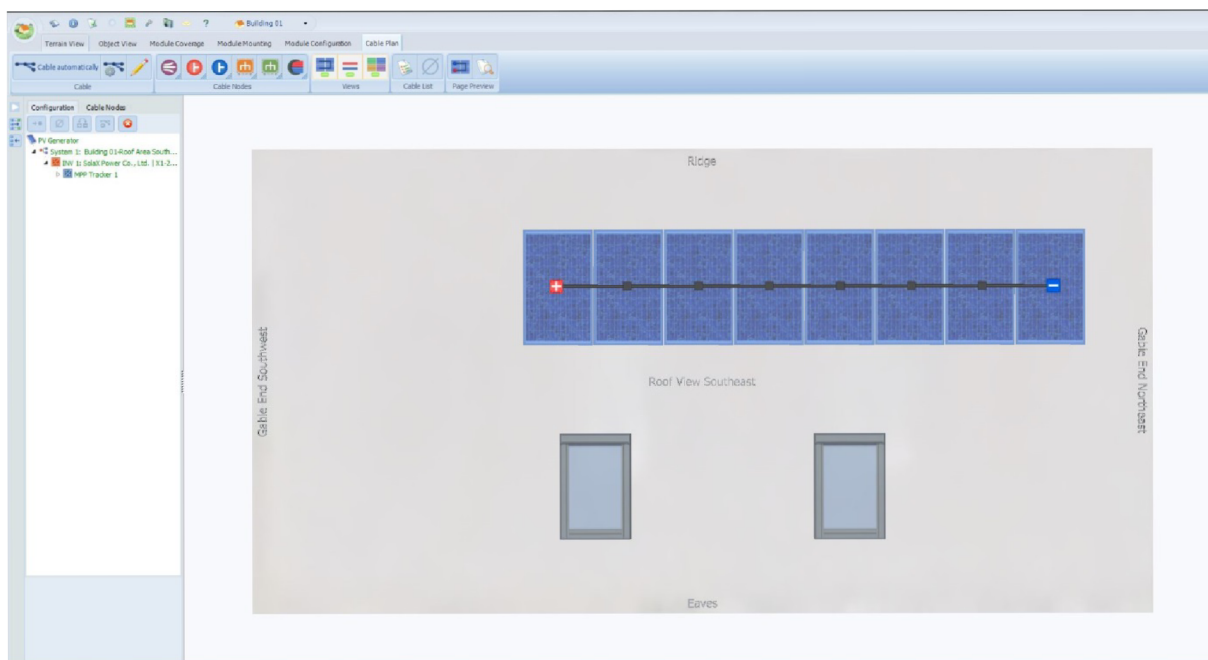
Obr. 8.7: PVSol – Podsložka - Module Coverage

Předposlední podsložka „Module configuration“ slouží pro výběr vhodné konfigurace panelů a střídače. Program umožňuje automatickou volbu nejvhodnější sestavy, či selektivní volbu jednotlivých výrobců. Pro naše potřeby byl zvolen střídač značky SolaX Power.



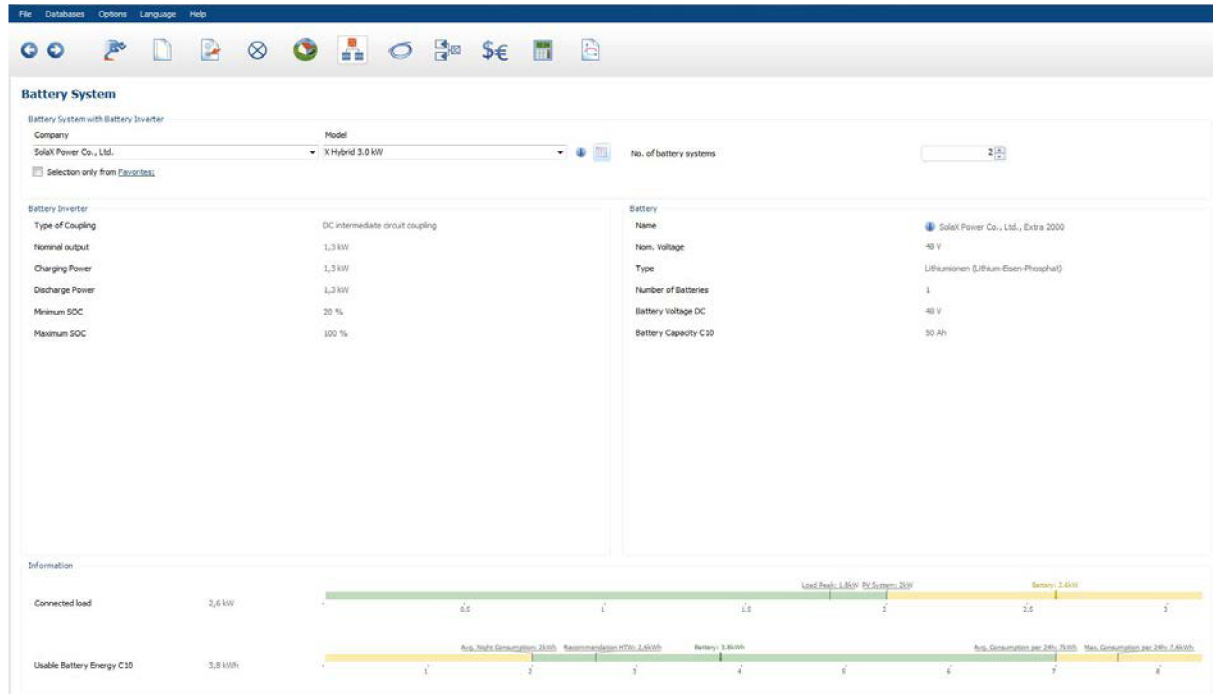
Obr. 8.8: PVSol – Podsložka - Module Configuration

Poslední podsložka „Cable Plan“ již podle názvu avizuje plánování kabeláže. V tomto případě, je zvoleno automatické propojení.



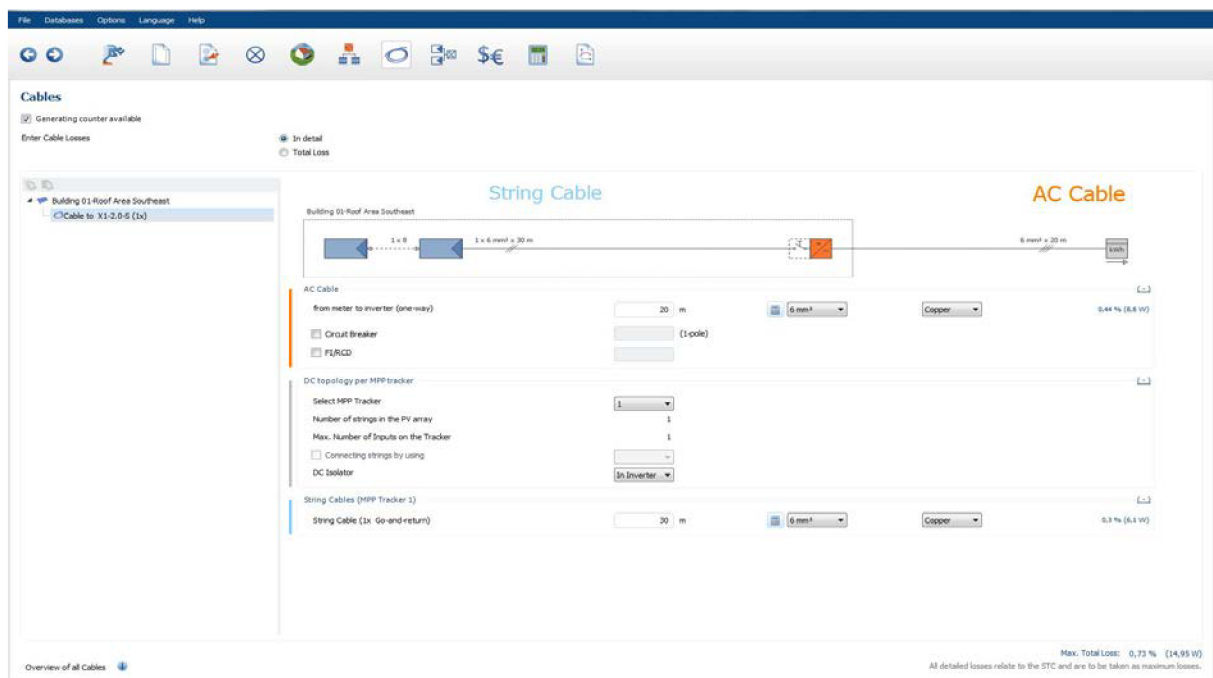
Obr. 8.9: PVSol – Podsložka - Cable Plan

Pátá záložka slouží k výběru vhodného akumulčního prvku. Zde je opět možnost zvolit si výrobce baterií a také konkrétní model. Níže jsou uvedeny specifické parametry baterií a také informační řádky, které nám napovídají, jestli bude baterie patřičně využita. Pro účely projektu byla zvolena baterie od stejné společnosti, která vyrábí střídače a to SolaX Power a jejich model XHybrid 3.0 kWh. Pohled na záložku je na Obr. 8.10.



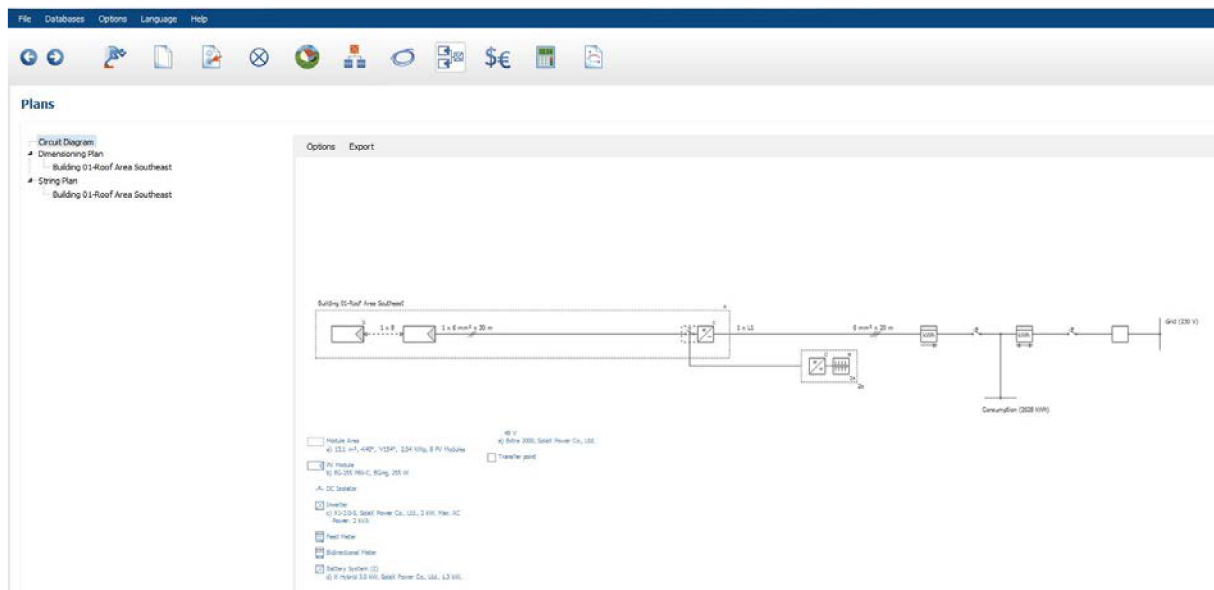
Obr. 8.10: PVSol – Stránka s názvem: Battery system

V **šesté záložce** s názvem „Cables“ definujeme ztráty v kabeláži, které můžeme definovat buď detailně, což znamená zadáním jednotlivých průřezů a délek vodičů či celkové ztráty veškeré kabeláže v jednotkách procent, viz. Obr. 8.11.



Obr. 8.11: PVSol – Stránka s názvem: Cables

Sedmá záložka s názvem „Plans“ umožňuje zobrazení schématu zapojení, schématu rozměrového rozložení solárních panelů a jejich propojení na střeše. Dále je zde možnost veškeré podklady vyexportovat do formátu obrázku, PDF či DXF dokumentu, viz. Obr. 8.12.

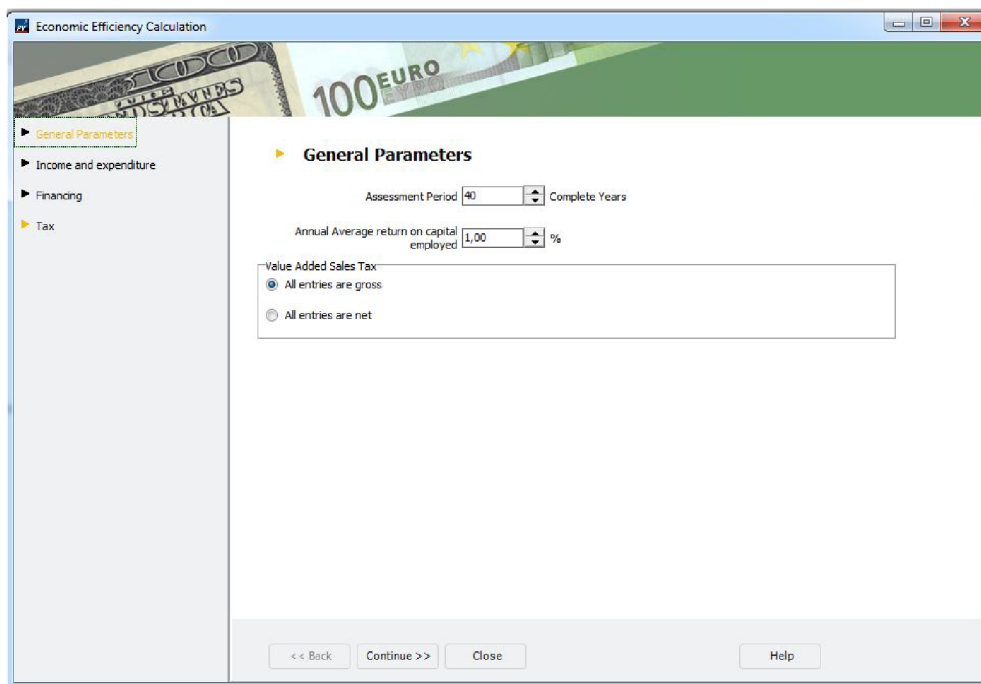


Obr. 8.12: PVSol – Stránka s názvem: Plans

Osmá záložka patří k jedné z nejdůležitějších položek v celém programu, slouží k detailnímu nastavení parametrů finanční analýzy a také tarifu, který je pro každou domácnost rozdílný.

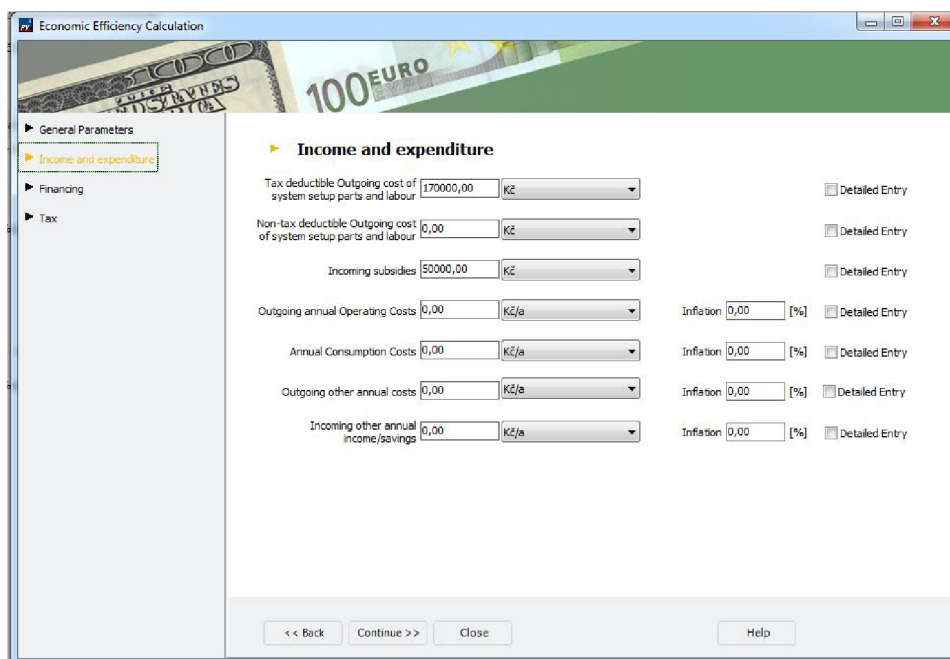
Obr. 8.13: PVSol – Stránka s názvem: Financial Analysis

Po přechodu do podsložky „Financial Analysis Parameters“ se otevře nové okno, kde lze nastavit odhadovanou dobu fungování systému, což se v dnešní době udává okolo 40 let, pokud bychom zadali jinou hodnotu, výsledky analýzy by nemuseli vycházet správně. Ostatní políčka jsou zanechána v defaultním nastavení.



Obr. 8.14: PVSol – Economic Efficiency Calculation - General Parameters

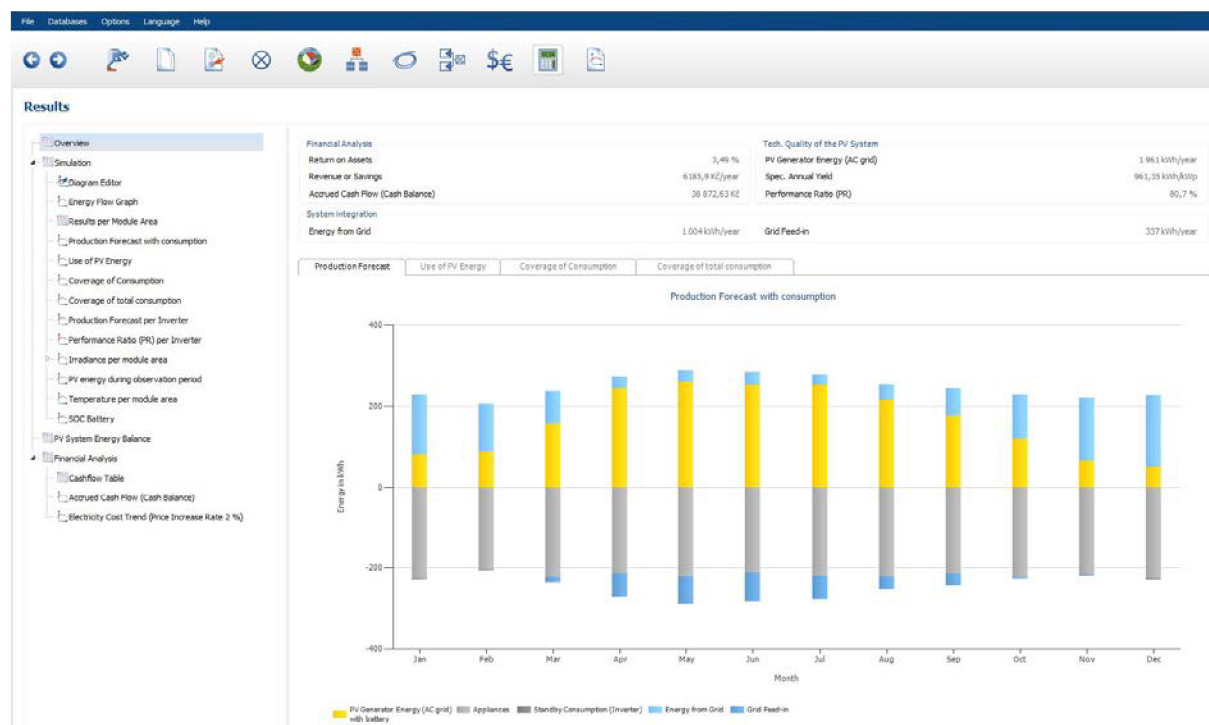
V další kolonce s názvem „Income and Expenditure“ se zadávají, jaké budou náklady na solární systém. Hodnota se udává buď v Kč a nebo v Kč/kWp jehož průměrná hodnota za rok 2017 je přibližně 45 000 Kč (pro malé systémy), nesmíme také zapomenout na baterie, u kterých se udává cena 25000 Kč/kWh. Dalším parametrem je výše dotace z Programu Nová Zelená Úsporám, která se v našem případě bude rovnat minimálně 55 000 Kč, záleží však, jestli systém bude splňovat podmínky udělení dotace, viz. Tab. 4.1: Dotace z programu Nová zelená úsporám. Ostatní kolonky zůstanou nevyplněné.



Obr. 8.15: PVSol - Economic Efficiency Calculation - Income and expenditure

Zbylé dvě kolonky Financing a Tax nejsou důležité, neboť nepočítáme s půjčkou pro zakoupení systému ani nebudeme prodávat přebytečnou energii.

Jako poslední zbývá **devátá záložka** s názvem „Results“. V této záložce jsou veškeré výsledky návrhu. Najdeme zde výsledky využití elektrické energie v průběhu roku z FV elektrárny a ze sítě, množství vygenerované energie FV systému, výkony elektrárny a střídače, teplotní analýzy, stavy baterií a hlavně finanční náklady a výnosy, viz. Obr. 8.16.



Obr. 8.16: PVSol – Stránka s názvem: Results

8.2.1. Výsledek návrhu a ekonomická návratnost

Pro návrháře je nejdůležitější třetí stránka z exportovaného dokumentu výsledků, kde je možné ihned vidět nejdůležitější údaje pro správný návrh, viz. Tab. 8.2.

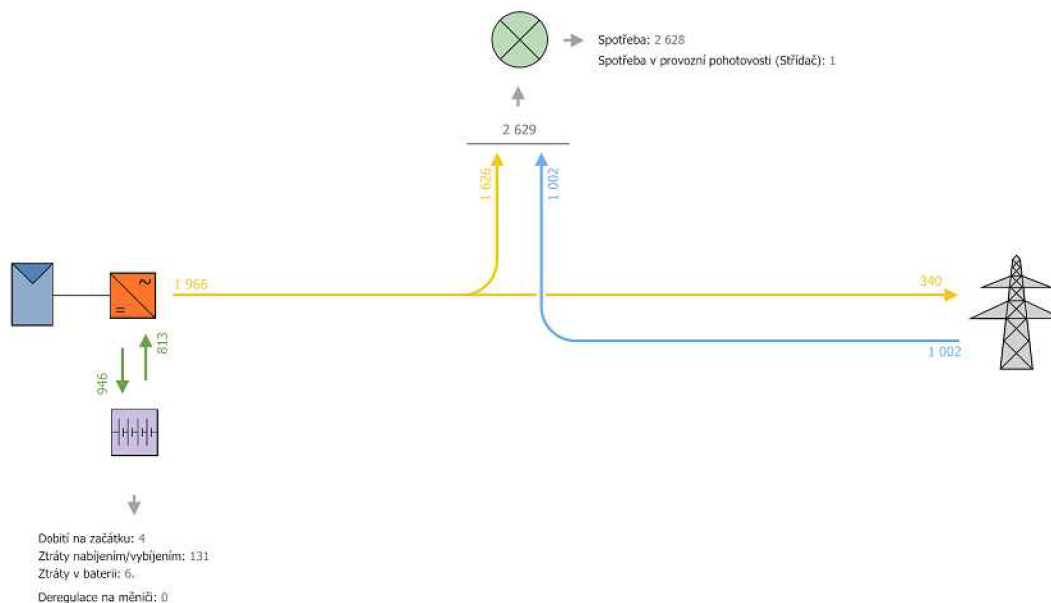
Tab. 8.2: Off-grid systém - Výnosy

Výnos	
Energie FV generátoru (AC síť)	1 966 kWh
Vlastní spotřeba	1 626 kWh
Síťové napájení	340 kWh
Spec. Roční výnos	963,89 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	80,9 %
Podíl vlastní spotřeby	82,7 %
Stupeň soběstačnosti	61,9 %
Výpočet ztrát zastíněním	0,0 %/Rok
Snížení emisí CO ₂	1 098 kg/rok

Pokud se podíváme na hodnoty z tabulky 8.2, pak si můžeme povšimnout, že roční výroba FV systému se blíží 2000 kWh a z této hodnoty jsme schopni využít více než 1600 kWh. Podíl vlastní spotřeby je 82,7% z vygenerované energie FV systémem. Na obrázku 8.17 je vidět, že z celkové roční spotřeby 2628 kWh, pokryjeme 1626 kWh z FV systému a 1002 kWh je nutné odebírat ze sítě, zbylých 340 kWh jsou přebytky do sítě. Stupeň soběstačnosti je zhruba 62%.

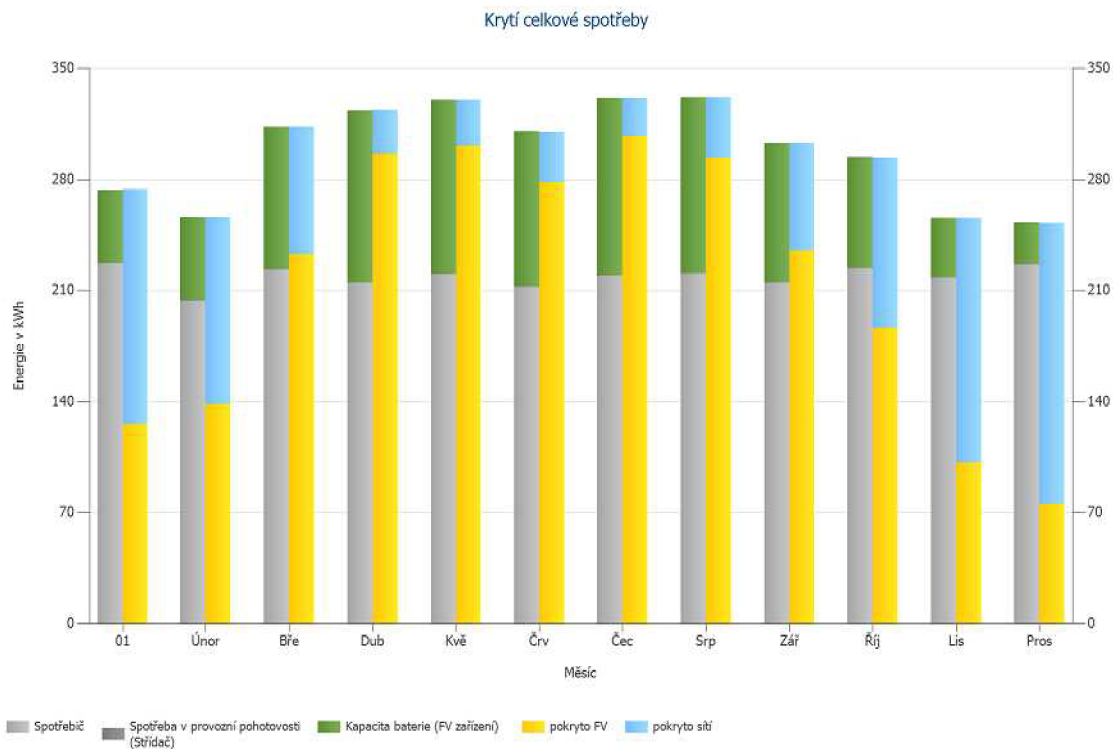
Tok energie grafika

Projekt: Off-grid



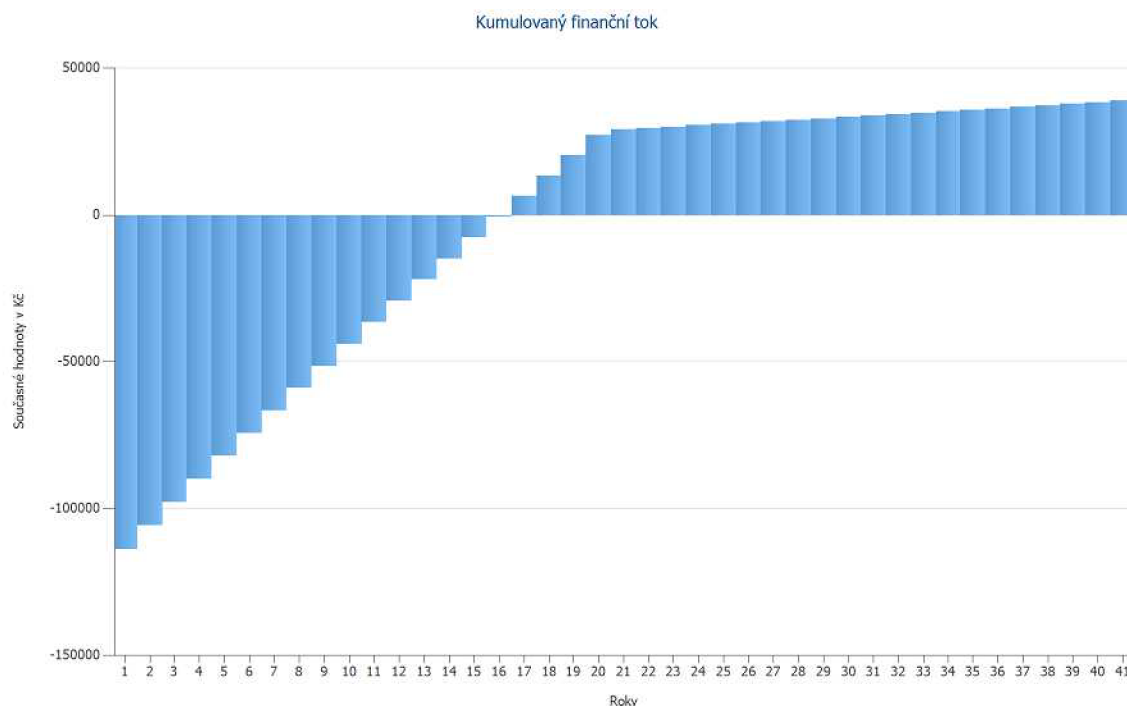
Obr. 8.17: PVSol - Off-grid systém - Tok energie

Z obrázku 8.18 je patrné, že během prvních třech a posledních třech měsíců roku, je velká většina spotřeby kryta energií ze sítě a baterií, zbytek dodává FV systém. Pokud bychom chtěli zlepšit pokrytí a soběstačnost v měsících s malou intenzitou slunce, museli bychom zvýšit instalovaný výkon a zvolit jiný střídač.



Obr. 8.18: PVSol - Off-grid systém - Krytí celkové spotřeby

Pokud se podíváme na finanční analýzu, zjistíme, že tento typ systému se nám navrátí zhruba po 17 letech provozu, viz. Obr. 8.19.



Obr. 8.19: PVSol - Off-grid systém - Kumulovaný finanční tok

Celkové finanční toky pro každý rok je možné vidět v přehledné tabulce níže:

Tab. 8.3: Off-grid systém - Tabulka peněžních toků

	Rok 1	Rok 2	Rok 3	Rok 4	Rok 5
Investice	-170 000,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	50 000,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	5 768,02 Kč	7 676,11 Kč	7 600,11 Kč	7 524,86 Kč	7 450,36 Kč
Úspory při odběru proudu	356,61 Kč	360,15 Kč	363,71 Kč	367,31 Kč	370,95 Kč
Roční finanční tok	-113 875,37 Kč	8 036,26 Kč	7 963,82 Kč	7 892,17 Kč	7 821,31 Kč
Kumulovaný finanční tok	-113 875,37 Kč	-105 839,11 Kč	-97 875,29 Kč	-89 983,12 Kč	-82 161,82 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	7 376,59 Kč	7 303,56 Kč	7 231,24 Kč	7 159,65 Kč	7 088,76 Kč
Úspory při odběru proudu	374,62 Kč	378,33 Kč	382,08 Kč	385,86 Kč	389,68 Kč
Roční finanční tok	7 751,21 Kč	7 681,89 Kč	7 613,32 Kč	7 545,51 Kč	7 478,44 Kč
Kumulovaný finanční tok	-74 410,60 Kč	-66 728,72 Kč	-59 115,40 Kč	-51 569,89 Kč	-44 091,46 Kč
	Rok 11	Rok 12	Rok 13	Rok 14	Rok 15
Investice	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	7 018,57 Kč	6 949,08 Kč	6 880,28 Kč	6 812,16 Kč	6 744,71 Kč
Úspory při odběru proudu	393,54 Kč	397,43 Kč	401,37 Kč	405,34 Kč	409,36 Kč
Roční finanční tok	7 412,11 Kč	7 346,52 Kč	7 281,65 Kč	7 217,50 Kč	7 154,07 Kč
Kumulovaný finanční tok	-36 679,34 Kč	-29 332,83 Kč	-22 051,18 Kč	-14 833,68 Kč	-7 679,61 Kč

	Rok 16	Rok 17	Rok 18	Rok 19	Rok 20
Investice	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	6 677,93 Kč	6 611,81 Kč	6 546,35 Kč	6 481,53 Kč	6 417,36 Kč
Uspory při odběru proudu	413,41 Kč	417,50 Kč	421,64 Kč	425,81 Kč	430,03 Kč
Roční finanční tok	7 091,34 Kč	7 029,32 Kč	6 967,99 Kč	6 907,35 Kč	6 847,39 Kč
Kumulovaný finanční tok	-588,27 Kč	6 441,05 Kč	13 409,03 Kč	20 316,38 Kč	27 163,77 Kč

	Rok 21	Rok 22	Rok 23	Rok 24	Rok 25
Investice	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	1 626,68 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Uspory při odběru proudu	434,28 Kč	438,58 Kč	442,93 Kč	447,31 Kč	451,74 Kč
Roční finanční tok	2 060,96 Kč	438,58 Kč	442,93 Kč	447,31 Kč	451,74 Kč
Kumulovaný finanční tok	29 224,73 Kč	29 663,31 Kč	30 106,24 Kč	30 553,55 Kč	31 005,29 Kč

	Rok 26	Rok 27	Rok 28	Rok 29	Rok 30
Investice	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Uspory při odběru proudu	456,21 Kč	460,73 Kč	465,29 Kč	469,90 Kč	474,55 Kč
Roční finanční tok	456,21 Kč	460,73 Kč	465,29 Kč	469,90 Kč	474,55 Kč
Kumulovaný finanční tok	31 461,51 Kč	31 922,24 Kč	32 387,53 Kč	32 857,43 Kč	33 331,98 Kč

Z finanční analýzy je patrné, že tento navržený Off-grid systém je schopen navrátit vstupní náklady zhruba po 17 letech provozu, za předpokladu, že solární panely nebudou poškozeny a nebudou žádné problémy se střídačem. Mimo jiné si musíme uvědomit, že pokrytí tímto systémem je pouze 62% celkové potřeby. Kdybychom chtěli mít úplně soběstačný Off-grid systém, museli bychom současný systém minimálně zdvojnásobit. To by znamenalo zařadit další solární panely a také baterie, které jsou asi jedny z nejdražších komponent v rámci celého systému a v neposlední řadě, by bylo vhodné instalovat nesouměrný střídač, který by dodával energii do jednotlivých fází v domě podle aktuální spotřeby. Z těchto bodů plyne, že cena celého systému by byla velice vysoká a návratnost by trvala dlouhou dobu, z toho důvodu je instalace úplného Off-grid systému finančně nevýhodná.

8.2.2. Zvolené komponenty (Off-grid)

8.2.2.1. FV modul EGing EG-255 P60-C

Tab. 8.4: EGing EG-255 P60-C [16]

FV modul: EG-255 P60-C	
Výrobce	EGing
Možno dodat	Ano
Elektrické údaje	
Typ buňky	Si polycrystalline
Pouze vhodný transformátor-měnič	Ne
Počet buněk	60
Počet obtokových diod	3
Mechanické údaje	
Sířka	990 mm
Výška	1650 mm
Hloubka	35 mm
Sířka rámu	28 mm
Hmotnost	18,6 kg
Orámováno	Ne
U/I charakteristiky při STC	
Napětí v MPP	30,47 V
Proud v MPP	8,37 A
Jmenovitý výkon	255 W
Volnoběžné napětí	37,97 V
Zkratový proud	8,89 A
Zvýšení volnoběžného napětí před stabilizací	0 %
Díličí charakteristiky zátěže U/I (vypočítáno)	
Zdroj hodnot	Standardní (Dvojdiódový model)
Sériový odpor R_s	5,4e-03 Ω
Paralelní rezistor R_p	9,14 Ω
Parametry sytícího proudu $Cs1$	66,2 A/K ³
Parametry sytícího proudu $Cs2$	3,921e-03 A/K ² (2,5)
Parametry fotovoltaického proudu $C1$	7,833e-03 m ² /V
Parametry fotovoltaického proudu $C2$	3,564e-06 m ² /V
Fotovoltaický proud	8,895 A
Další	
Napěťový koeficient	-121,62 mV/K
Proudový koeficient	3,56 mA/K
Koeficient výkonu	-0,43 %/K
Faktor korekce úhlu	95 %
Maximální systémové napětí	1000 V
Spec. Tepelná kapacita	920 J/(kg*K)
Koeficient absorpce	70 %
Emisní koeficient	85 %

8.2.2.2. Střídač SolaX Power X1-2.0-S

Tab. 8.5: SolaX Power X1-2.0-S [17]

Střídač: X1-2.0-S	
Výrobce	SolaX Power Co., Ltd.
Možno dodat	Ano
Elektrické údaje	
Jmenovitý výkon DC	2,1 kW
Jmenovitý výkon AC	2 kW
Max. výkon DC	2,2 kW
Max. výkon AC	2 kVA
Spotřeba v provozní pohotovosti	0,4 W
Noční spotřeba	0 W
Napájení od	2 W
Max. vstupní proud	10 A
Max. vstupní napětí	400 V
Jmenovité napětí DC	360 V
Váze napájení	1
Počet DC vstupů	1
S transformátorem	Ano
Změna stupně účinnosti při odchylce vstupního napětí od jmenovitého napětí	0,2 %/100V
MPP Tracker	
Rozsah výkonu < 20 % jmenovitého napětí	99,9 %
Rozsah výkonu > 20 % jmenovitého napětí	100 %
Počet MPP Tracker	1
Max. vstupní proud pro MPP Tracker	10 A
Max. vstupní výkon pro MPP Tracker	2,2 kW
Min. napětí MPP	100 V
Max. napětí MPP	380 V

8.2.2.3. Baterie X Hybrid 3.0 kW

Tab. 8.6: Systém baterií: X Hybrid 3.0 kW

Systém baterií: X Hybrid 3.0 kW	
Výrobce	SolaX Power Co., Ltd.
Jmenovitý výkon	1,3 kW
Maximální výkon nabití (30 min)	1,3 kW
Maximální vybíjecí výkon (30 min)	1,3 kW
Baterie*	1 x Extra 2000
Výrobce baterie	SolaX Power Co., Ltd.
Kapacita	50 Ah
Systémové napětí baterie DC	48,0 V

8.3 Návrh On-grid systému

Pro návrh druhého systému typu On-grid, budeme uvažovat pouze zjednodušený koncept, který bude mít pouze string osmi polykrystalických panelů, který bude už dopředu osazen třífázovým střídačem, který umožňuje připojit dva MPP trackery. K střídači bude zapojen pouze jeden MPP tracker, který bude sloužit pro jiho-východní stranu panelů. Druhý MPP tracker bude spojen s prvním, tak aby pracovaly současně, ale do budoucna bude možné propojku odstranit a doplnit panely o jiho-západní stranu, což bude provedeno během optimalizace návrhu. Zároveň přidáme ohřívač vody o objemu 200l a příkonu 2,5 kW. Bojler zahrneme do zátěžového profilu domácnosti. Tento ohřívač bude pracovat primárně v časech od 9 hod dopoledne do 15 hod odpoledne každý den, avšak jeho využití omezíme na měsíce duben až říjen, kdy je sluneční záření velice příznivé a tím pádem maximalizujeme využití energie.

V druhém navrhovaném systému provedeme optimalizaci, kdy přidáme další string s panely a umístíme jej na jiho-západní stranu střechy, tím si prodloužíme sluneční svit a zvýšíme využití sluneční energie, zároveň přidáme akumulční prvky. Díky trojfázovému střídači zařazenému již v prvním konceptu, nám odpadne starost s jeho výměnou.

8.3.1. On-grid – Jeden string bez akumulátoru

Jako v předchozím návrhu i nyní začínáme v **druhé záložce**, kde si zvolíme typ systému. Nyní se bude jednat pouze o „Grid-connected PV System with Electrical Appliances“ v překladu FV systém připojený k síti s elektrickými spotřebiči, viz. Obr. 8.20.

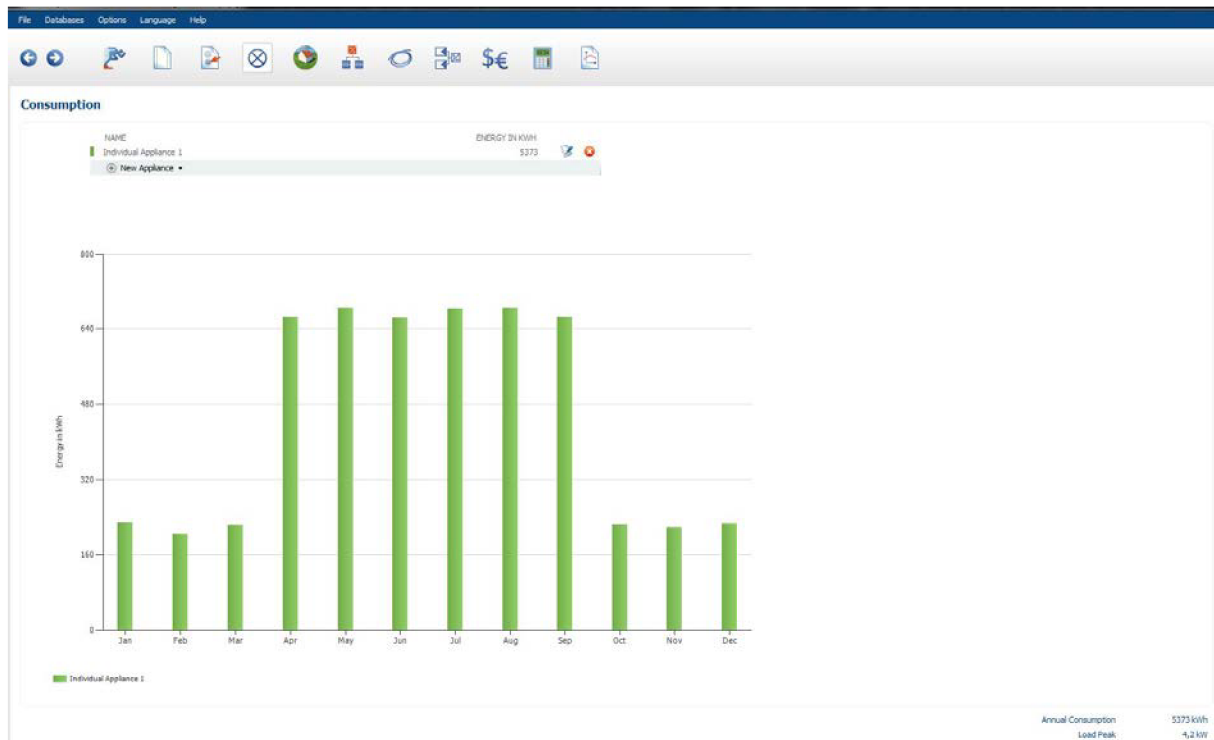
The screenshot displays the PVSol software interface for configuring a grid-connected PV system. The main window is titled "System Type, Climate and Grid". Under "Type of System", the dropdown menu is set to "Grid-connected PV System with Electrical Appliances". Below this, a schematic diagram shows a PV array connected to an inverter, which is then connected to the AC mains. The "Type of Design" section has the "Use 3D Design" checkbox checked. The "Climate Data" section is populated with the following information:

Country	Location	Annual sum of global irradiation	Annual Average Temperature
Czech Republic	Třichov	1092 kWh/m ²	9,7 °C

Additional climate data includes Latitude: 50° 1' 45" (50,03°), Longitude: 15° 15' 11" (15,25°), Time zone: UTC+1, Time Period: 1991 - 2010, and Resolution: Hourly. The "AC Mains" section shows Voltage (N-L1): 230 V, Number of Phases: 3-phase, and Maximum Feed-in Power Clipping: No.

Obr. 8.20: PVSol – On-grid – Výběr systému

Ve **třetí záložce** se nachází náš zátěžový profil obohacený o ohřívač vody, čímž vzrostla roční spotřeba energie z původních 2600 kWh na 5373 kWh.



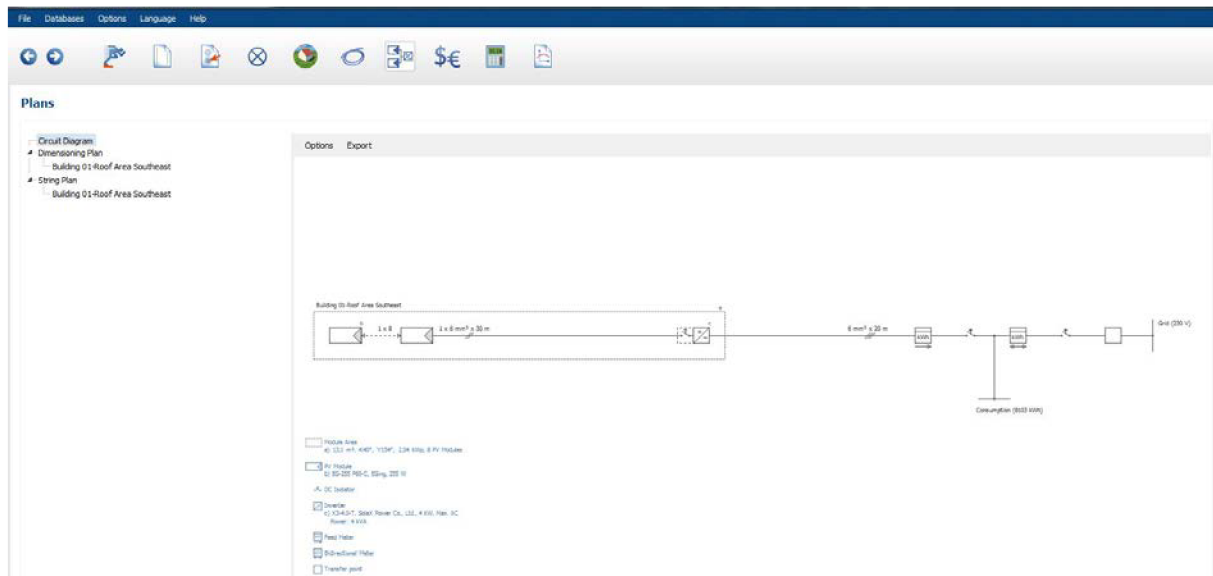
Obr. 8.21: PVSol – On-grid – Zátěžový profil

Ve **čtvrté záložce** s 3D návrhem se oproti Off-grid návrhu nic nezměnilo, pouze z celého systému odpadly baterie a byl zvolen nový střídač. Zároveň máme přichystané dva MPP trackery, které se využijí v dalším návrhu.



Obr. 8.22: PVSol – On-grid – Rozložení panelů na střeše

V **páté záložce** s definicí ztrát v kabelech jsme nic neměnili, proto zůstala stejná, změna je ovšem vidět v další **šesté záložce**, kde ze schématu vypadly baterie.



Obr. 8.23: PVSol – On-grid – Elektrické schéma zapojení

V **sedmé záložce** s finanční analýzou se v části „Economic Efficiency Calculation“ musí započítat cena bojleru s instalací, což navyšuje cenu systému o cca 25 000 Kč, viz. Obr. 8.24.

The screenshot shows the Financial Analysis interface with the 'Economic Efficiency Calculation' window open. The window displays various financial parameters and their values, including tax deductible outgoing costs, non-tax deductible outgoing costs, incoming subsidies, and outgoing annual operating costs.

Parameter	Value	Unit	Inflation	Detailed Entry
Tax deductible Outgoing cost of system setup per ts and labour	115000	Kč		<input type="checkbox"/>
Non-tax deductible Outgoing cost of system setup per ts and labour	0,00	Kč		<input type="checkbox"/>
Incoming subsidies	55000,00	Kč		<input type="checkbox"/>
Outgoing annual Operating Costs	0,00	Kč/a	0,00 [%]	<input type="checkbox"/>
Annual Consumption Costs	0,00	Kč/a	0,00 [%]	<input type="checkbox"/>
Outgoing other annual costs	0,00	Kč/a	0,00 [%]	<input type="checkbox"/>
Incoming other annual income/savings	0,00	Kč/a	0,00 [%]	<input type="checkbox"/>

Obr. 8.24: PVSol – On-grid – Finanční analýza

8.3.1.1. Výsledek návrhu a ekonomická návratnost On-grid systému

Z vyexportovaného reportu si vyextrahujeme položku s celkovými výnosy energie, z Tab. 8.7 je vidět, že celková vlastní spotřeba činí 1455 kWh ročně, celkový podíl vlastní spotřeby energie z FV je 70,4%. Díky těmto parametrům splňujeme podmínky pro podoblast podpory C.3.4 z programu Nová Zelená Úsporám a je možnost využít finančního příspěvku 55 000kč.

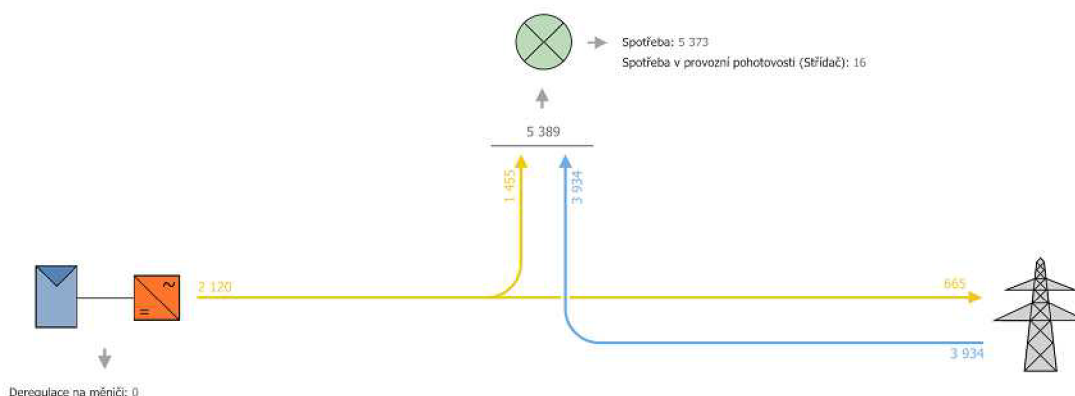
Tab. 8.7: On-grid systém - Výnosy

Výnos	
Energie FV generátoru (AC síť)	2 120 kWh
Vlastní spotřeba	1 455 kWh
Síťové napájení	665 kWh
Spec. Roční výnos	1 039,35 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	87,3 %
Podíl vlastní spotřeby	70,4 %
Výpočet ztrát zastíněním	0,0 %/Rok
Snížení emisí CO ₂	1 272 kg/rok

Z Obr. 8.25 je patrné, že přidáním ohřivače vody, se nám navýšila celková roční spotřeba energie, s čímž jsme počítali. Na obrázku je také vidět, že do sítě přepouštíme zhruba 665 kWh, tato hodnota nemusí být tak vysoká, pokud se správně nastaví využití přídavného ohřevu vody i v dalších měsících, kdy tolik nesvítí slunce, ale jen v krátkých časových intervalech, aby se energie zcela využila. Jak je vidět značnou část energie bereme ze sítě, to se však změní, až budeme optimalizovat systém pro budoucí využití, kde přidáme další string s panely a také akumulátory.

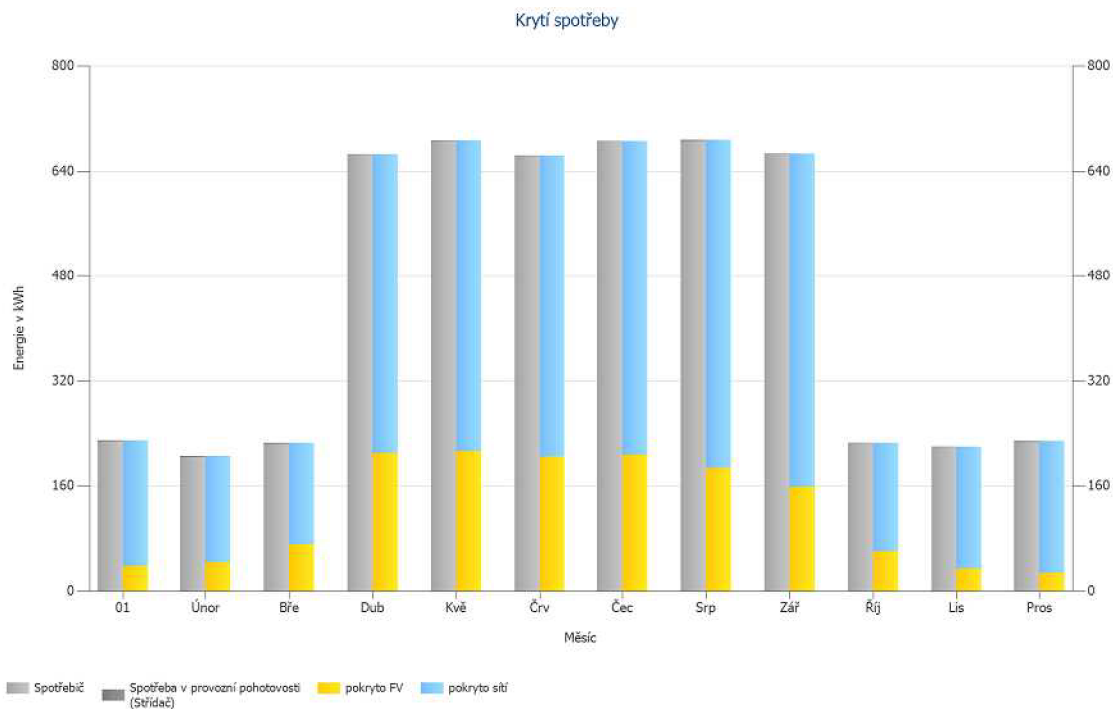
Tok energie grafika

Projekt: On-grid



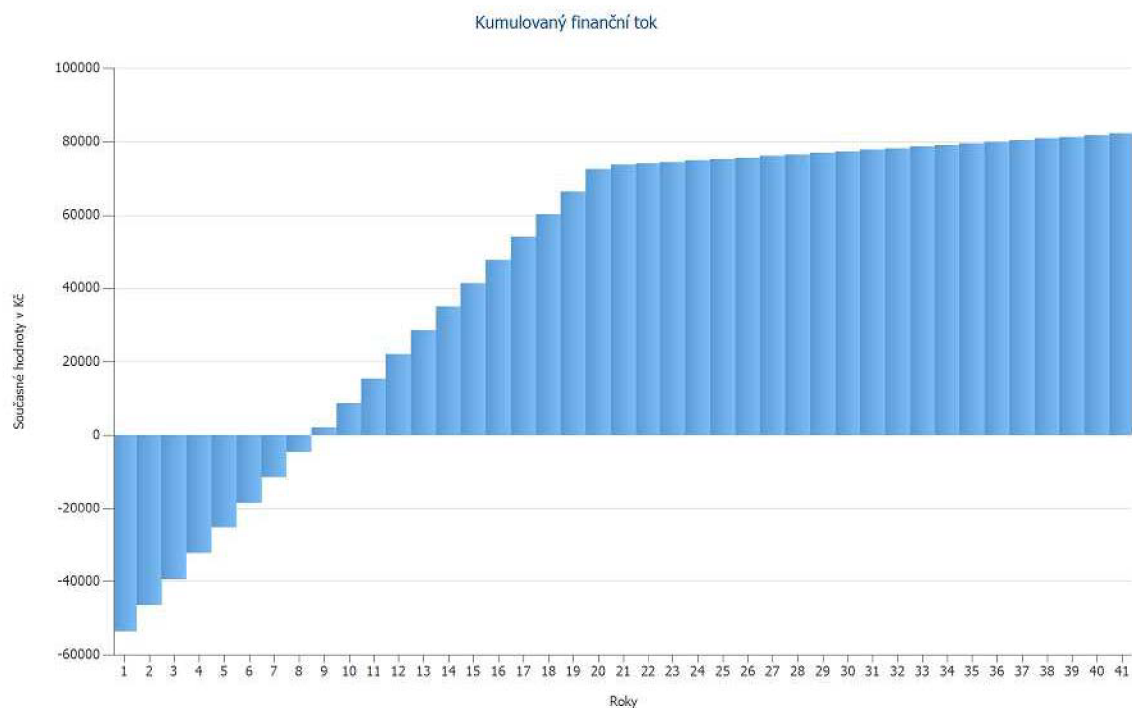
Obr. 8.25: PVSol - On-grid systém - Tok energie

Jak již bylo řečeno, v tomto modelu návrhu pokrývá spotřebu z velké části elektrická síť, to však bude optimalizováno v dalším návrhovém modelu. Pokrytí spotřeby je možno vidět na Obr. 8.26.



Obr. 8.26: PVSol - On-grid systém - Krytí celkové spotřeby

Pohled na kumulovaný finanční tok nám ukazuje Obr. 8.27, kde je možné vidět, že zhruba po osmi letech se FV systém dostává do kladných čísel a již jsou splaceny vstupní pořizovací náklady.



Obr. 8.27: PVSol - On-grid systém - Kumulovaný finanční tok

Detailní finanční toky pro každý rok je možné vidět v přehledné Tab. 8.8:

Tab. 8.8: On-grid systém - Tabulka peněžních toků

Tabulka peněžních toků					
	Rok 1	Rok 2	Rok 3	Rok 4	Rok 5
Investice	-115 000,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	55 000,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	5 940,25 Kč	6 876,10 Kč	6 808,02 Kč	6 740,62 Kč	6 673,88 Kč
Úspory při odběru proudu	316,02 Kč	319,14 Kč	322,30 Kč	325,50 Kč	328,72 Kč
Roční finanční tok	-53 743,74 Kč	7 195,25 Kč	7 130,33 Kč	7 066,11 Kč	7 002,60 Kč
Kumulovaný finanční tok	-53 743,74 Kč	-46 548,49 Kč	-39 418,16 Kč	-32 352,05 Kč	-25 349,45 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	6 607,80 Kč	6 542,38 Kč	6 477,60 Kč	6 413,47 Kč	6 349,97 Kč
Úspory při odběru proudu	331,97 Kč	335,26 Kč	338,58 Kč	341,93 Kč	345,32 Kč
Roční finanční tok	6 939,77 Kč	6 877,64 Kč	6 816,18 Kč	6 755,40 Kč	6 695,28 Kč
Kumulovaný finanční tok	-18 409,68 Kč	-11 532,04 Kč	-4 715,86 Kč	2 039,54 Kč	8 734,82 Kč
	Rok 11	Rok 12	Rok 13	Rok 14	Rok 15
Investice	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	6 287,10 Kč	6 224,85 Kč	6 163,22 Kč	6 102,19 Kč	6 041,78 Kč
Úspory při odběru proudu	348,74 Kč	352,19 Kč	355,68 Kč	359,20 Kč	362,75 Kč
Roční finanční tok	6 635,83 Kč	6 577,04 Kč	6 518,89 Kč	6 461,39 Kč	6 404,53 Kč
Kumulovaný finanční tok	15 370,66 Kč	21 947,69 Kč	28 466,58 Kč	34 927,97 Kč	41 332,50 Kč
	Rok 16	Rok 17	Rok 18	Rok 19	Rok 20
Investice	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	5 981,96 Kč	5 922,73 Kč	5 864,09 Kč	5 806,03 Kč	5 748,54 Kč
Úspory při odběru proudu	366,35 Kč	369,97 Kč	373,64 Kč	377,33 Kč	381,07 Kč
Roční finanční tok	6 348,30 Kč	6 292,70 Kč	6 237,72 Kč	6 183,36 Kč	6 129,61 Kč
Kumulovaný finanční tok	47 680,81 Kč	53 973,51 Kč	60 211,23 Kč	66 394,59 Kč	72 524,21 Kč
	Rok 21	Rok 22	Rok 23	Rok 24	Rok 25
Investice	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	823,33 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úspory při odběru proudu	384,84 Kč	388,65 Kč	392,50 Kč	396,39 Kč	400,31 Kč
Roční finanční tok	1 208,17 Kč	388,65 Kč	392,50 Kč	396,39 Kč	400,31 Kč
Kumulovaný finanční tok	73 732,38 Kč	74 121,03 Kč	74 513,54 Kč	74 909,92 Kč	75 310,24 Kč
	Rok 26	Rok 27	Rok 28	Rok 29	Rok 30
Investice	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úspory při odběru proudu	404,28 Kč	408,28 Kč	412,32 Kč	416,40 Kč	420,53 Kč
Roční finanční tok	404,28 Kč	408,28 Kč	412,32 Kč	416,40 Kč	420,53 Kč
Kumulovaný finanční tok	75 714,51 Kč	76 122,79 Kč	76 535,12 Kč	76 951,52 Kč	77 372,05 Kč
	Rok 31	Rok 32	Rok 33	Rok 34	Rok 35
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	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úspory při odběru proudu	424,69 Kč	428,90 Kč	433,14 Kč	437,43 Kč	441,76 Kč
Roční finanční tok	424,69 Kč	428,90 Kč	433,14 Kč	437,43 Kč	441,76 Kč
Kumulovaný finanční tok	77 796,74 Kč	78 225,63 Kč	78 658,78 Kč	79 096,21 Kč	79 537,97 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	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Uspory při odběru proudu	446,14 Kč	450,55 Kč	455,01 Kč	459,52 Kč	464,07 Kč
Roční finanční tok	446,14 Kč	450,55 Kč	455,01 Kč	459,52 Kč	464,07 Kč
Kumulovaný finanční tok	79 984,10 Kč	80 434,66 Kč	80 889,67 Kč	81 349,19 Kč	81 813,26 Kč

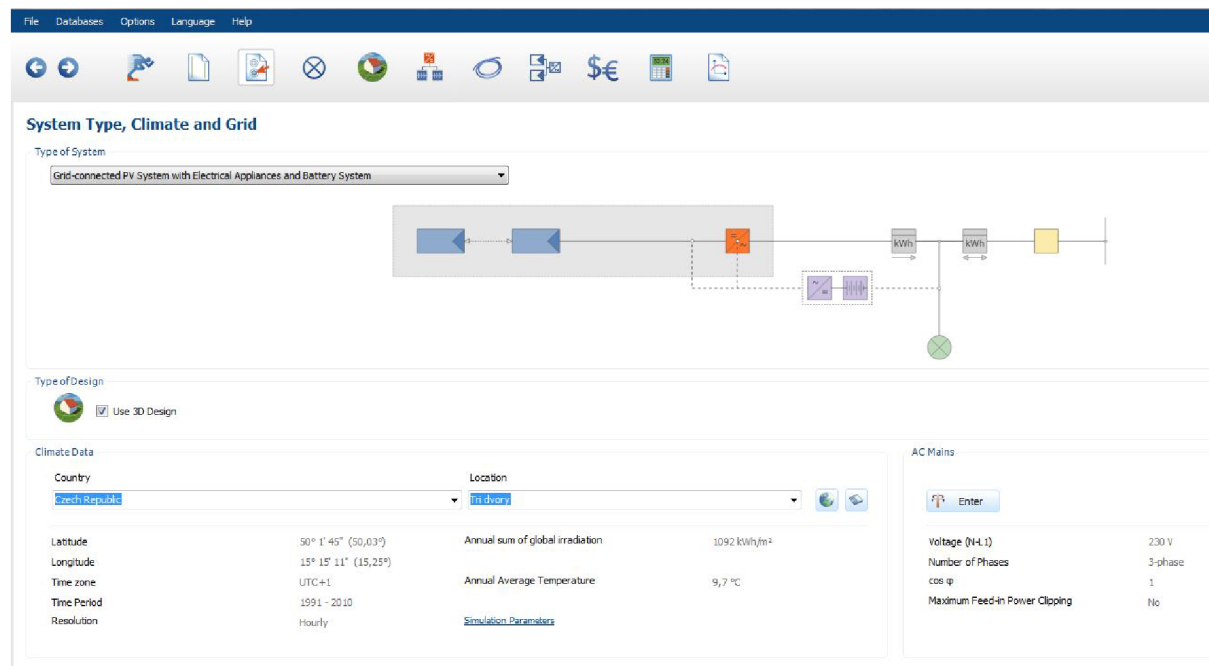
	Rok 41
Investice	0,00 Kč
Podpory	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	0,00 Kč
Úspory při odběru proudu	468,66 Kč
Roční finanční tok	468,66 Kč
Kumulovaný finanční tok	82 281,92 Kč

Z tabulky peněžních toků vidíme, že celý systém má velice dobrou návratnost, navíc díky využití podpory státu jsme ušetřili 55 000 na celkových nákladech, což činí výslednou částku pro pořízení systému velice malou a atraktivní.

8.3.2. On-grid – Optimalizovaný

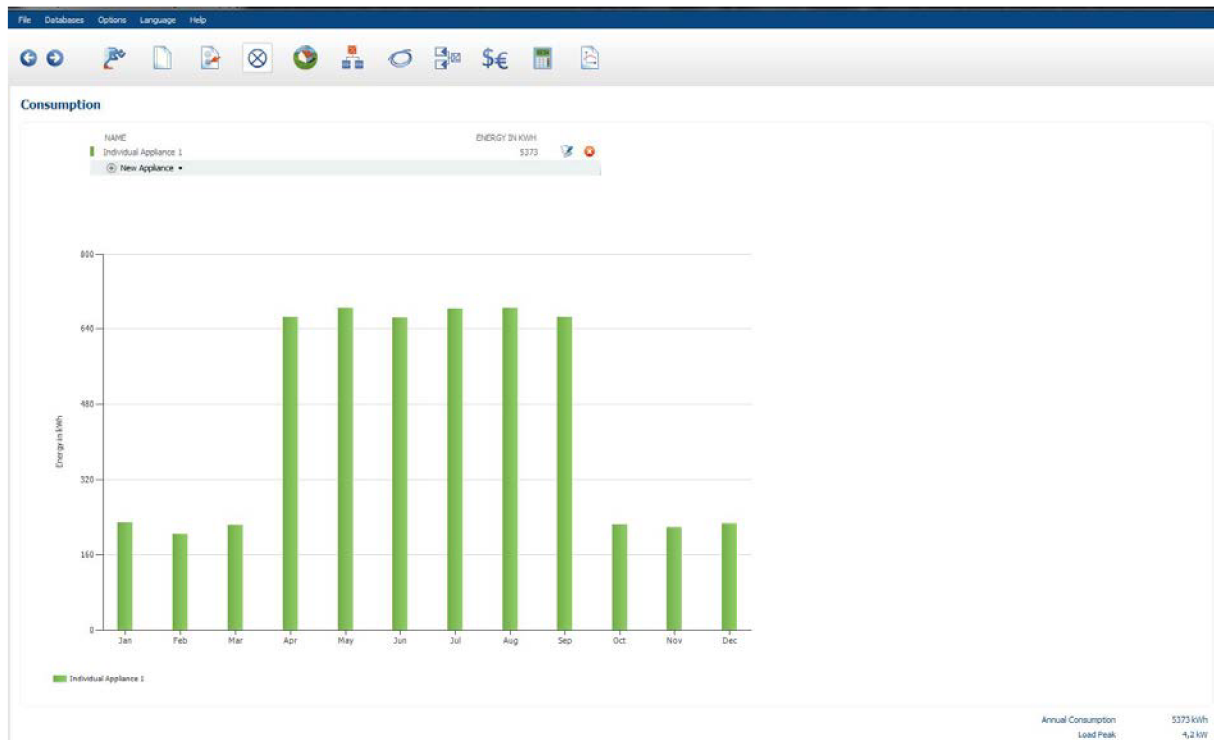
Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, tento návrh bude optimalizován, pro lepší využití energie a lepší pokrytí spotřeby. Tento systém je rozšířen o další string panelů na jiho-západní části střechy a navíc jsou přidány akumulární prvky.

V programu PVSol nyní zvolíme na **druhé záložce** ve volbě systému „Grid-connected PV System with Electrical Appliances and Battery System“, což znamená systém připojený k síti, s elektrickými spotřebiči a akumulárními prvky.



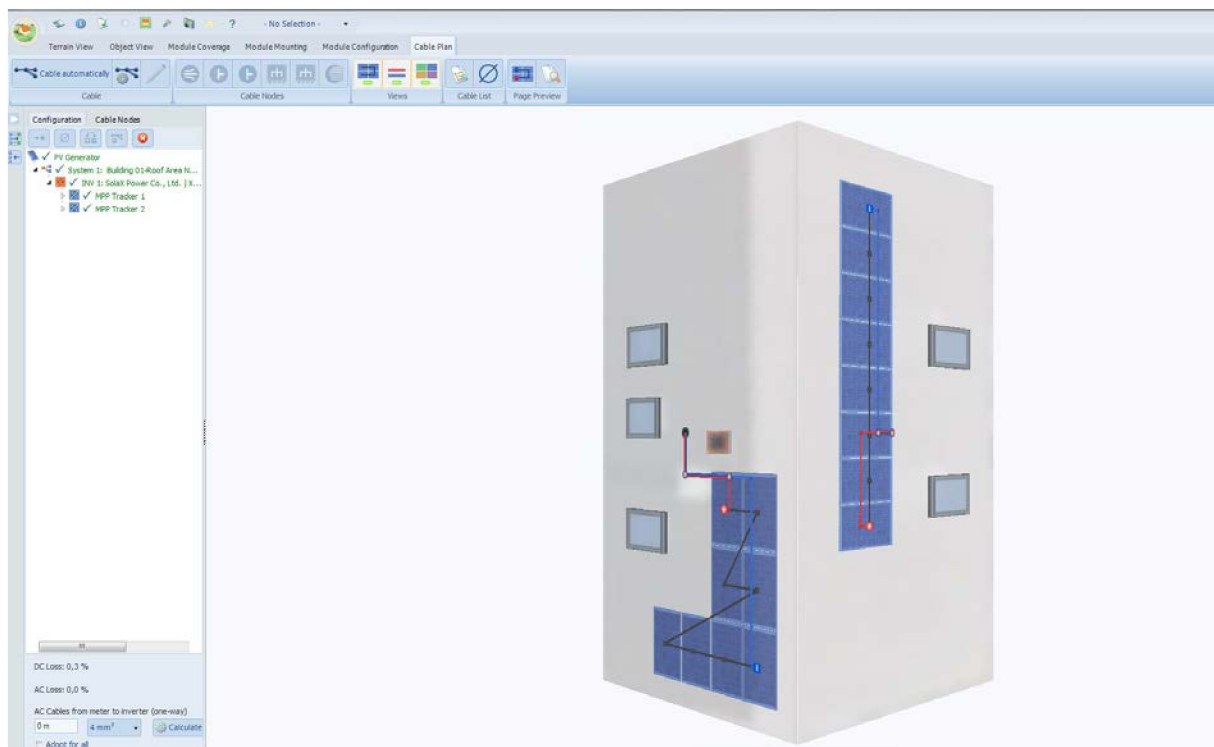
Obr. 8.28: PVSol – On-grid (Optimalizovaný) – Výběr systému

Ve **třetí záložce** zůstává stejný zátěžový profil, jako byl využit u předchozího konceptu. Tento profil počítá s roční spotřebou 5373 kWh.



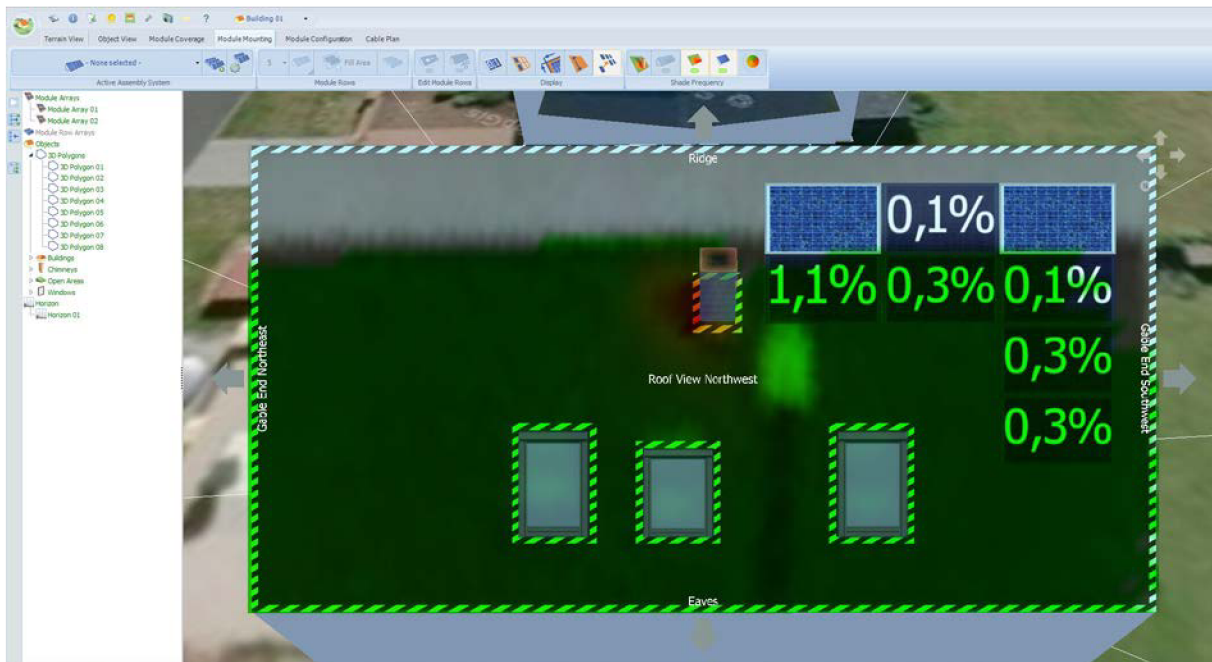
Obr. 8.29: PVSol – On-grid (Optimalizovany) – Zátěžový profil

Ve **čtvrté záložce** s 3D návrhem došlo ke změně, nyní je vidět rozložení panelů na obou stranách střechy, včetně schématu propojení (Obr. 8.30).



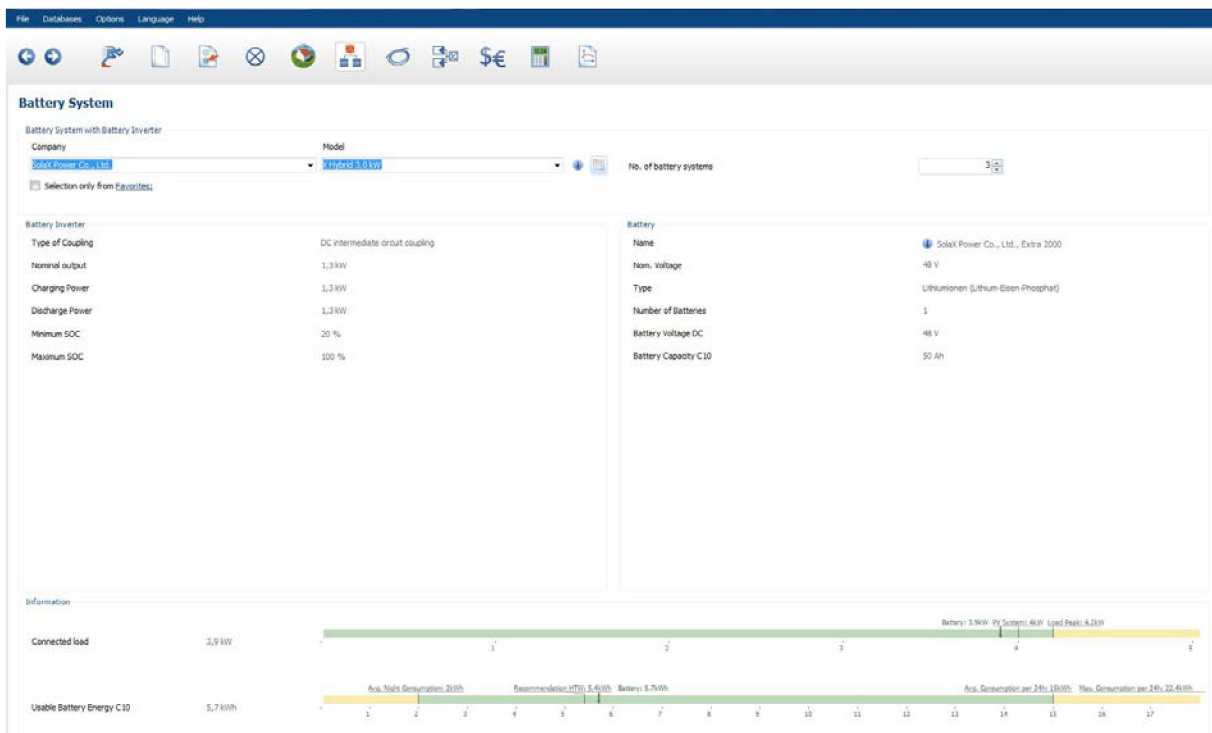
Obr. 8.30: PVSol – On-grid (Optimalizovaný) – Rozložení panelů na střechě

Na Obr. 8.31 můžeme vidět barevný výsledek simulace zastínění, kde je procentuálně znázorněno snížení ozáření panelů.



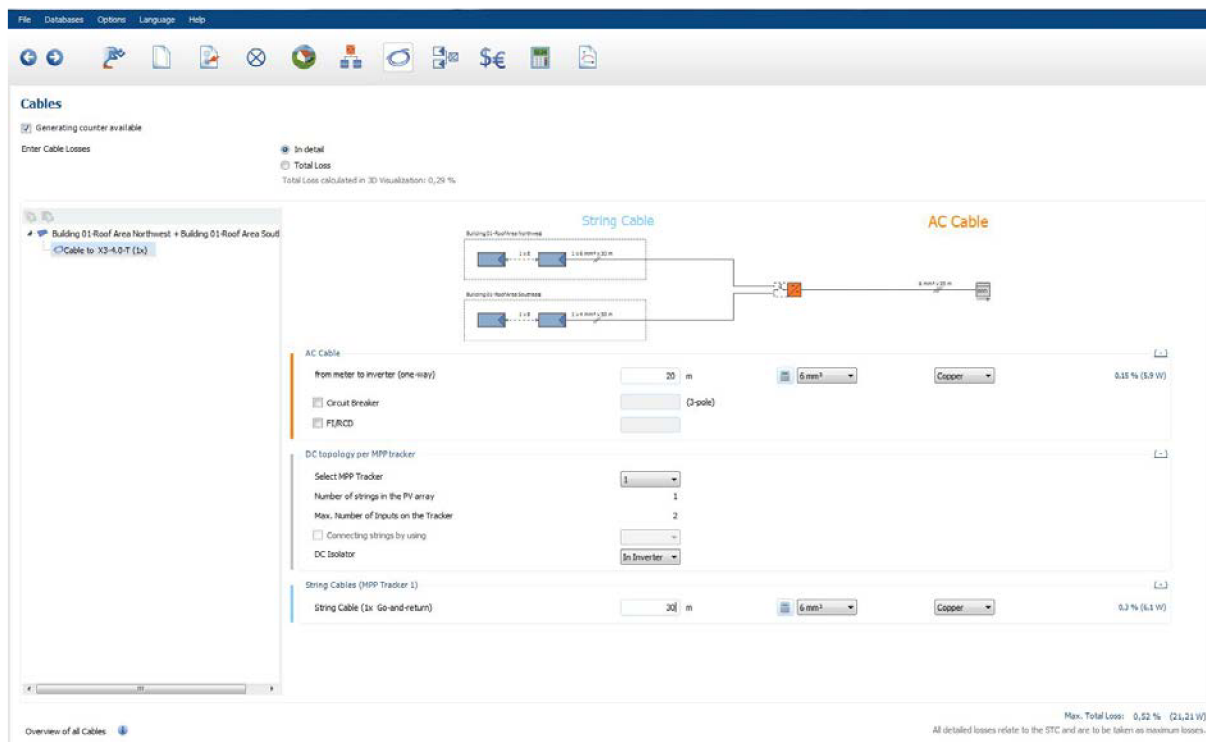
Obr. 8.31: PVSol – On-grid (Optimalizovaný) – Zastínění jiho-západní strany střechy

V **páté záložce** zařadíme akumulční baterie, které budou tři o celkové kapacitě 3,9 kWh. Baterie budou od stejné firmy, která vyrábí střídač, viz. Obr. 8.32.



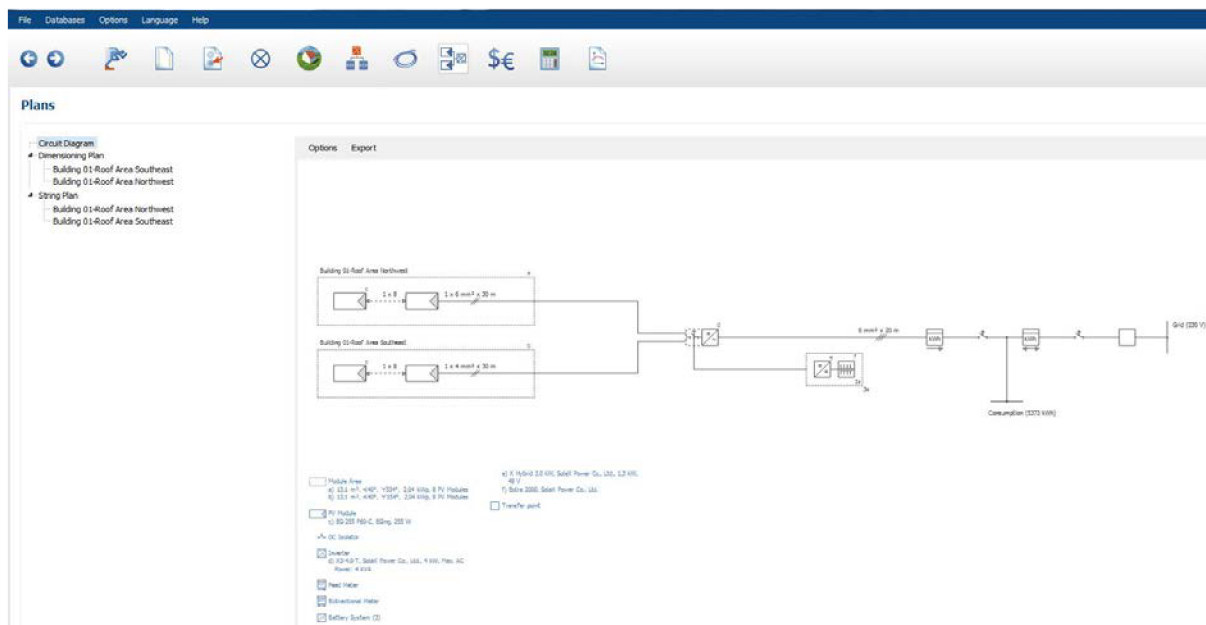
Obr. 8.32: PVSol – On-grid (Optimalizovaný) - Baterie

V **šesté záložce** jsme navýšili délku kabelů kvůli druhému stringu panelů, tím pádem nám nepatrně vzrostly procentuální ztráty v systému, viz. Obr. 8.33.



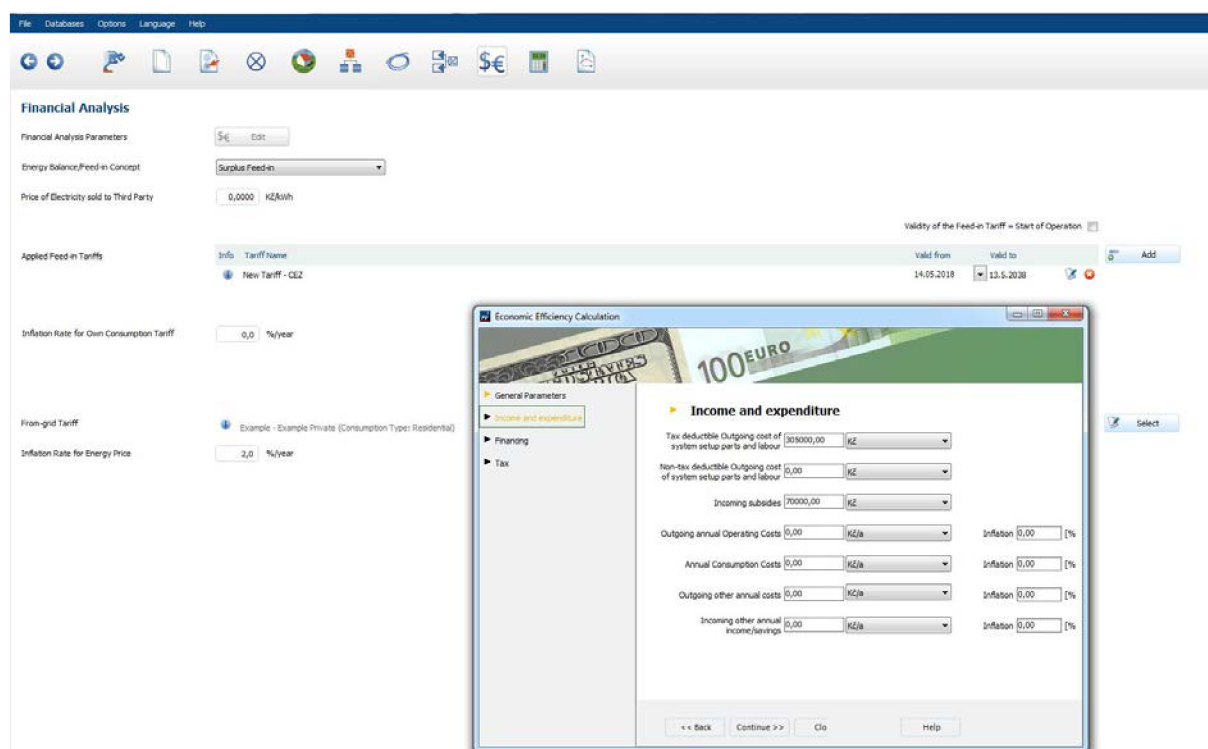
Obr. 8.33: PVSol – On-grid (Optimalizovaný) - Ztráty v kabelech

V **Sedmé záložce** se nám změnilo schéma zapojení a to o jeden další string umístěný na jiho-západní straně střechy, viz. Obr. 8.34.



Obr. 8.34: PVSol – On-grid (Optimalizovaný) - Schéma zapojení

V osmé záložce s finanční analýzou nám vzrostla v části „Economic Efficiency Calculation“ cena celého systému, zároveň bychom však měli obdržet o něco vyšší dotaci na pořízení systému a to ve výši 70 000 Kč.



Obr. 8.35: PVSol – On-grid (Optimalizovaný) – Finanční analýza - nastavení

8.3.2.1. Výsledek návrhu a ekonomická návratnost optimalizovaného On-grid systému

Nyní, když se podíváme do Tab. 8.9 můžeme vidět, že vlastní spotřeba energie z FV systému je 3061 kWh což je 98,1% z celkové vyrobené energie FV systému, přebytky do sítě jsou pouhých 60 kWh, což je zanedbatelné číslo.

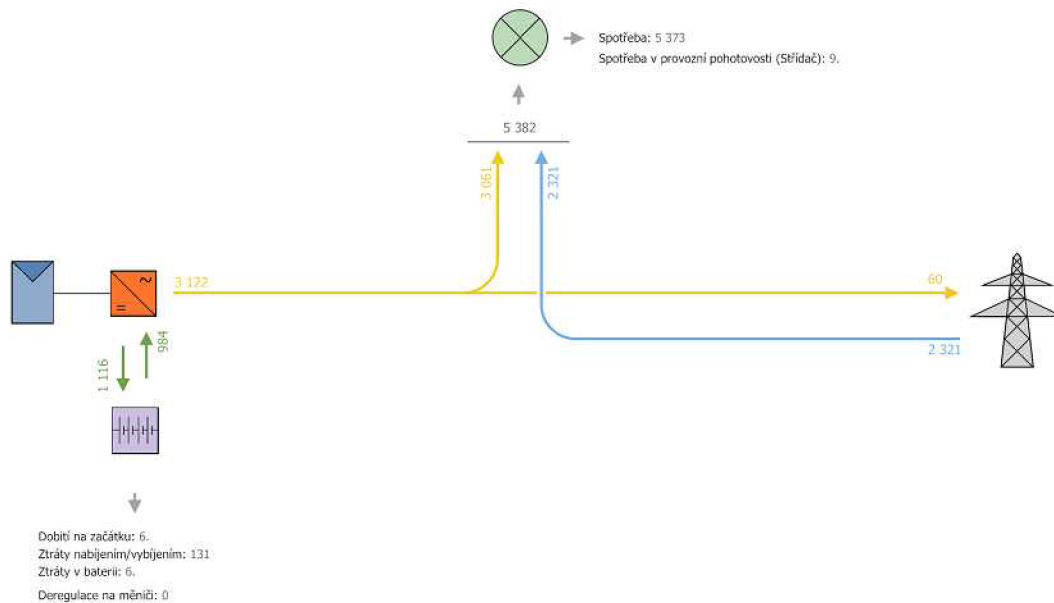
Tab. 8.9: On-grid systém (Optimalizovaný) - Výnosy

Výnos	
Energie FV generátoru (AC síť)	3 122 kWh
Vlastní spotřeba	3 061 kWh
Síťové napájení	60 kWh
Spec. Roční výnos	765,18 kWh/kWp
Stupeň využití zařízení (PR)	81,1 %
Podíl vlastní spotřeby	98,1 %
Stupeň soběstačnosti	56,9 %
Výpočet ztrát zastíněním	0,4 %/Rok
Snížení emisí CO ₂	1 791 kg/rok

Na Obr. 8.36 můžeme graficky vidět, že z celkové roční spotřeby elektrické energie, která činí 5373 kWh, je 3061 kWh pokryto z FV elektrárny a 2312 kWh odebíráme ze sítě.

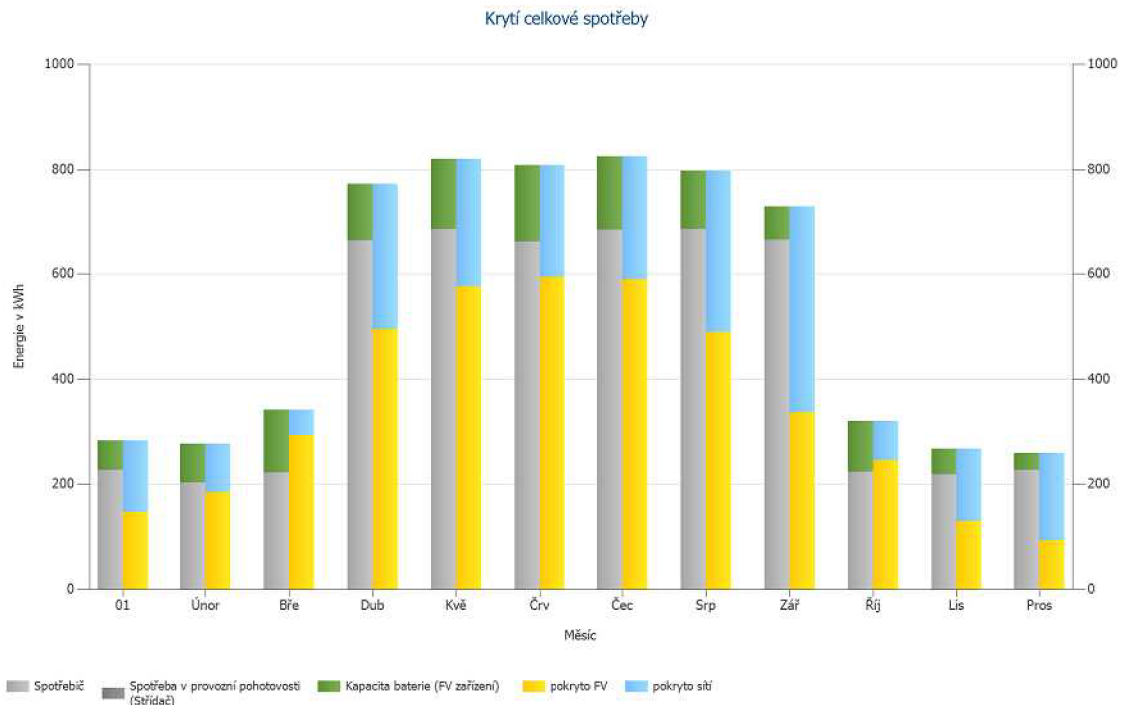
Tok energie grafika

Projekt: On-grid_Optimalizovany



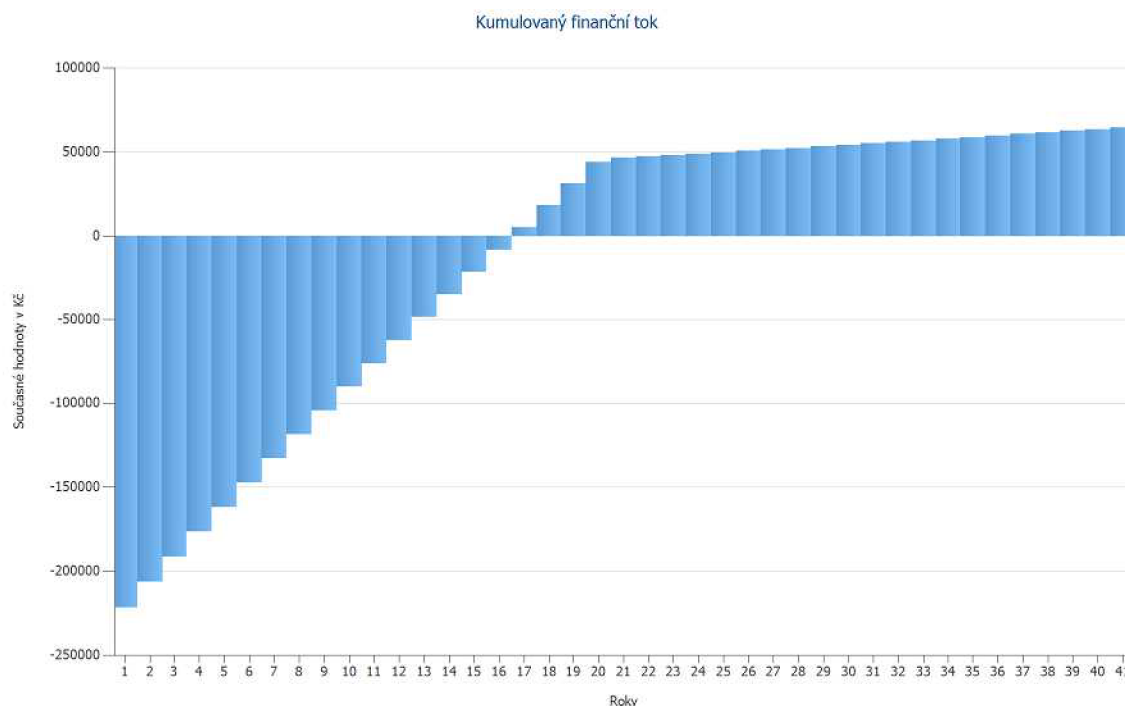
Obr. 8.36: PVSol - On-grid systém (Optimalizovaný) - Tok energie

Na Obr. 8.37 je vidět krytí celkové spotřeby domácností. V porovnání s předchozím On-grid systémem, je patrný značný nárůst vykrytí spotřeby energie. To je zapříčiněno instalací druhého stringu panelů a přidáním akumulčních prvků, díky čemuž jsme zefektivnili celý systém



Obr. 8.37: PVSol - On-grid systém (Optimalizovaný) - Krytí celkové spotřeby

Zhodnocení kumulovaného finančního toku je zobrazeno na Obr. 8.38, z něj můžeme vypočítat oddálení návratnosti FV systému a to na dobu zhruba 16-17 let, to je zapříčiněno většími vstupními náklady, zejména baterie mají částku minimálně 100 000 Kč.



Obr. 8.38: PVSol - On-grid systém (Optimalizovaný) – Kumulovaný finanční tok

Následující tabulka detailně vypisuje peněžní toky pro jednotlivé roky instalovaného FV systému.

Tab. 8.10: On-grid systém (Optimalizovaný) - Tabulka peněžních toků

	Rok 1	Rok 2	Rok 3	Rok 4	Rok 5
Investice	-305 000,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	70 000,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	12 756,42 Kč	14 465,48 Kč	14 322,26 Kč	14 180,46 Kč	14 040,06 Kč
Úspory při odběru proudu	670,28 Kč	676,91 Kč	683,62 Kč	690,39 Kč	697,22 Kč
Roční finanční tok	-221 573,30 Kč	15 142,40 Kč	15 005,88 Kč	14 870,84 Kč	14 737,28 Kč
Kumulovaný finanční tok	-221 573,30 Kč	-206 430,90 Kč	-191 425,03 Kč	-176 554,18 Kč	-161 816,90 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	13 901,05 Kč	13 763,41 Kč	13 627,14 Kč	13 492,22 Kč	13 358,63 Kč
Úspory při odběru proudu	704,12 Kč	711,10 Kč	718,14 Kč	725,25 Kč	732,43 Kč
Roční finanční tok	14 605,17 Kč	14 474,51 Kč	14 345,28 Kč	14 217,46 Kč	14 091,06 Kč
Kumulovaný finanční tok	-147 211,73 Kč	-132 737,23 Kč	-118 391,95 Kč	-104 174,48 Kč	-90 083,43 Kč
	Rok 11	Rok 12	Rok 13	Rok 14	Rok 15
Investice	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	13 226,37 Kč	13 095,41 Kč	12 965,76 Kč	12 837,38 Kč	12 710,28 Kč
Úspory při odběru proudu	739,68 Kč	747,00 Kč	754,40 Kč	761,87 Kč	769,41 Kč
Roční finanční tok	13 966,05 Kč	13 842,42 Kč	13 720,16 Kč	13 599,25 Kč	13 479,69 Kč
Kumulovaný finanční tok	-76 117,38 Kč	-62 274,96 Kč	-48 554,81 Kč	-34 955,55 Kč	-21 475,86 Kč

	Rok 16	Rok 17	Rok 18	Rok 19	Rok 20
Investice	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	12 584,44 Kč	12 459,84 Kč	12 336,47 Kč	12 214,33 Kč	12 093,40 Kč
Úspory při odběru proudu	777,03 Kč	784,72 Kč	792,49 Kč	800,34 Kč	808,26 Kč
Roční finanční tok	13 361,46 Kč	13 244,56 Kč	13 128,96 Kč	13 014,67 Kč	12 901,66 Kč
Kumulovaný finanční tok	-8 114,40 Kč	5 130,16 Kč	18 259,13 Kč	31 273,79 Kč	44 175,45 Kč

	Rok 21	Rok 22	Rok 23	Rok 24	Rok 25
Investice	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	1 519,21 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úspory při odběru proudu	816,26 Kč	824,35 Kč	832,51 Kč	840,75 Kč	849,08 Kč
Roční finanční tok	2 335,47 Kč	824,35 Kč	832,51 Kč	840,75 Kč	849,08 Kč
Kumulovaný finanční tok	46 510,92 Kč	47 335,27 Kč	48 167,78 Kč	49 008,53 Kč	49 857,60 Kč

	Rok 26	Rok 27	Rok 28	Rok 29	Rok 30
Investice	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úspory při odběru proudu	857,48 Kč	865,97 Kč	874,55 Kč	883,20 Kč	891,95 Kč
Roční finanční tok	857,48 Kč	865,97 Kč	874,55 Kč	883,20 Kč	891,95 Kč
Kumulovaný finanční tok	50 715,09 Kč	51 581,06 Kč	52 455,60 Kč	53 338,81 Kč	54 230,76 Kč

	Rok 31	Rok 32	Rok 33	Rok 34	Rok 35
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	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úspory při odběru proudu	900,78 Kč	909,70 Kč	918,71 Kč	927,80 Kč	936,99 Kč
Roční finanční tok	900,78 Kč	909,70 Kč	918,71 Kč	927,80 Kč	936,99 Kč
Kumulovaný finanční tok	55 131,54 Kč	56 041,24 Kč	56 959,94 Kč	57 887,75 Kč	58 824,74 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	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Úspory při odběru proudu	946,27 Kč	955,63 Kč	965,10 Kč	974,65 Kč	984,30 Kč
Roční finanční tok	946,27 Kč	955,63 Kč	965,10 Kč	974,65 Kč	984,30 Kč
Kumulovaný finanční tok	59 771,00 Kč	60 726,64 Kč	61 691,73 Kč	62 666,38 Kč	63 650,69 Kč

	Rok 41
Investice	0,00 Kč
Podpory	0,00 Kč
Úhrada za nabíjení	0,00 Kč
Úspory při odběru proudu	994,05 Kč
Roční finanční tok	994,05 Kč
Kumulovaný finanční tok	64 644,73 Kč

8.3.3. Zvolené komponenty (On-grid)

Pro oba On-grid systémy byly zvoleny stejné solární panely, které byly využity pro návrh Off-grid systému, stejně tak akumulční prvky, jediná změna je ve střídači, který musel být vyměněn. Z toho důvodů je zde uveden pouze střídač a parametry výše jmenovaných komponent je možné nastudovat v části: **8.2.2. Zvolené komponenty (Off-grid).**

Tab. 8.11: SolaX Power X3-4.0-T [21]

Střídač: X3-4.0-T

Výrobce	SolaX Power Co., Ltd.
Možno dodat	Ano
Elektrické údaje	
Jmenovitý výkon DC	5,2 kW
Jmenovitý výkon AC	4 kW
Max. výkon DC	5,2 kW
Max. výkon AC	4 kVA
Spotřeba v provozní pohotovosti	7 W
Noční spotřeba	3 W
Napájení od	0 W
Max. vstupní proud	22 A
Max. vstupní napětí	800 V
Jmenovité napětí DC	600 V
Váze napájení	3
Počet DC vstupů	2
S transformátorem	Ne
Změna stupně účinnosti při odchylce vstupního napětí od jmenovitého napětí	0,2 %/100V
MPP Tracker	
Rozsah výkonu < 20 % jmenovitého napětí	99,8 %
Rozsah výkonu > 20 % jmenovitého napětí	99,9 %
Počet MPP Tracker	2
Max. vstupní proud pro MPP Tracker	11 A
Max. vstupní výkon pro MPP Tracker	2,6 kW
Min. napětí MPP	160 V
Max. napětí MPP	780 V

Závěr

V rámci této diplomové práce byly prostudovány základní druhy fotovoltaických panelů a na jejich základě možnosti využití a instalace komplexních fotovoltaických systémů. V dalším bodě byla rozebrána problematika legislativy v české republice a to nejen z pohledu programu Nová Zelená úsporám, ale také z pohledu energetického zákona. Mezi nejdůležitější body patří paragraf (§ 3) s názvem Podnikání v energetických odvětvích odstavec (3), který zjednodušeně sděluje, že pokud je instalovaný výkon FV systému menší než 10 kWp, není třeba vlastnit licenci. Hodnota 10 kWp je zmíněna i v programu Nová Zelená Úsporám, kde je napsáno v podoblasti podpory C.3.4, C.3.5, C.3.6, C.3.7, že instalovaný výkon fotovoltaického systému nesmí být vyšší než 10 kWp. V rámci programu Nová Zelená Úsporám může být výše dotace podle splnění podmínek od 35 000 do 150 000 Kč.

Před samotným návrhem je zmíněna problematika měření spotřeby energie a to buď součtové, nebo po fázi. V případě součtového měření je jasné, že pokud vyrobíme 3 kW energie a je rozdělena mezi tři fáze, tak celkovou spotřebu odečtu od součtu vyrobené energie všech tří fází, tím pádem pokud zároveň odebíráme 3 kW, vychází nám čistá nula. Bohužel, při měření po fázích distribuční společnosti účtují zákazníkům nikoli celkové saldo spotřebované a vyrobené elektřiny, ale počítají saldo na každé ze tří fází. Takže pokud máme připojený systém pouze na jednu fázi, kde máme připojenou jen část spotřebičů, nejsme schopni naplno využít energii ze systému, ale pouze z jedné třetiny.

Při počátečním návrhu byly porovnány predikce výroby elektrické energie za pomoci dvou rozdílných programů. První z nich byl bezplatný systém PVGIS, vlastněný evropským výzkumným centrem a druhý PVSol společnosti Valentine Software, který je zpoplatněn. Z výsledků bylo patrné, že data, kterými disponuje PVSol jsou mnohem přesnější a spolehlivější než data z programu PVGIS, tudíž byly využity modely z PVSol software.

Během praktické části byly navrženy tři FV systémy z nichž první byl Off-grid, druhý byl On-grid a třetí byl také On-grid avšak s optimalizovanými parametry. Z výsledků Off-grid návrhu bylo zjištěno, že pro dosažení autonomního a čistého Off-gridu, bez připojení do sítě by byla nutná velká finanční investice, neboť je třeba pokrýt nároky na spotřebu nejen během měsíců, kdy svítí dostatečně slunce, ale také během zimních měsíců, kdy je výkon elektrárny minimální. Z toho důvodu by bylo nutné instalovat velké množství panelů včetně velice drahých akumulátorů. K tomu všemu by bylo ideální zakoupit hybridní asymetrický trojfázový střídač, jehož cena je velice vysoká. Z těchto důvodů je pořízení čistého Off-grid systému velmi drahá a vcelku nesmyslná investice.

U On-grid systému, který byl sestaven pouze z osmi polykrystalických panelů o výkonu 2 kWp a trojfázového střídače nám vyšla doba návratnosti zhruba 9 let, nicméně podíl vlastní spotřeby z FV systému nebyl vysoký a navíc velká část energie byla odebírána z distribuční sítě.

Po procesu optimalizace, kdy byl zařazen další string osmi polykrystalických panelů na jiho-západní stranu střechy a tři baterií o výkonu zhruba 4 kW se podařilo zvýšit podíl využití energie z FV systému na 98% a snížit příjem elektřiny z distribuční sítě. Tento systém má pořizovací hodnotu cca 305 000 Kč a jeho návratnost je do 17 let. Zároveň je systém připraven pro připojení dalších FV panelů a tím pádem navýšení celkového výkonu. Tento druh systému se jeví, jako velice perspektivní investice do budoucna.

Seznam literatury

- [1] KUSALA, Jaroslav. *Solární (fotovoltaické) články* [online]. In: . Solární Energie, 2006 [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [2] BECHNÍK, Bronislav. *Historie a perspektivy OZE - fotovoltaika, méně rozšířené technologie* Zdroj: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5517-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-mene-rozsirene-technologie> [online]. In: . TZB-Info, 2009 [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5517-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-mene-rozsirene-technologie>
- [3] *Pružné PV moduly 2 generace v PDF* [online]. [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: <http://www.fdt.cz/publikace>
- [4] FEJFAR, Antonín. *Fotovoltaika druhé a třetí generace* [online]. 2006 [cit. 2015-11-05]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3506-fotovoltaika-druhe-a-treti-generace>
- [5] *Fotovoltaika pro každého* [online]. 2009 [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika>
- [6] *Monocrystalline solar cells* [online]. 2008 [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: <http://www.hebesolar.com/monocrystalline-silicon-solar-cells.html>
- [7] ŘEHÁK, Jaromír, Jiří BÁREK a Radim BAŘINKA. FOTOVOLTAIKA A FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY V PODMÍNKÁCH ČR A JEJICH NAVRHOVÁNÍ. *Česká energetická agentura* [online]. Praha, 64 str [cit. 2017-11-01]. Dostupné z: http://www.mpo-efekt.cz/dokument/98_8050.pdf
- [8] *Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny* [online]. [cit. 2017-11-01]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [9] *Hybridní grid-free elektrárna* [online]. [cit. 2017-11-01]. Dostupné z: <http://www.solareni.cz/a-7-hybridni-fotovoltaicky-system.html>
- [10] *Ostrovní systémy* [online]. 2015 [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: <http://www.votum.cz/offgrid/>
- [11] O programu. *Nová Zelená Úsporám* [online]. 2017 [cit. 2017-11-10]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/3-vyzva-rodinne-domy/o-programu-3-vyzva/>
- [12] *Mapy.cz* [online]. Praha, 2017 [cit. 2017-12-01]. Dostupné z: <https://en.mapy.cz/zakladni?vlastni-body&x=15.2564873&y=50.0319606&z=20&base=ophoto&ut=New%20%20POI&uc=9i8nfXxf4Q&ud=T%C5%99i%20Dvory%20353%2C%20T%C5%99i%20Dvory%2C%20280%2002%2C%20okres%20Kol%C3%ADn>
- [13] Český úřad zeměměřický a katastrální. *Nahlížení do katastru nemovitostí* [online]. Praha, 2017 [cit. 2017-12-01]. Dostupné z: <http://nahliznidokn.cuzk.cz/>

- [14] *Verein Deutscher Ingenieure* [online]. Germany, 2018 [cit. 2017-12-05]. Dostupné z: https://www.vdi.de/nc/richtlinie/?tx_wmdbvdirilisearch_pi1%5Brpro_id%5D=6503&cHash=7aeba5b247b1597a20e30bc6c79bebba
- [15] Photovoltaic Geographical Information System. (*PVGIS*) [online]. 2012 [cit. 2017-12-05]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>
- [16] *EGING PV* [online]. 2018 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.egingpv.com/en/>
- [17] *SolaX Power* [online]. 2018 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://www.solaxpower.com/en/x1-mini/>
- [18] Zákon č. 458/2000 Sb. *Zákony pro lidi* [online]. 2000 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458>
- [19] ŠUVARSKÝ, Jaroslav. Měření po fázích je pro vlastníky malých fotovoltaik problém. Jak mu předejít?. *Tzbinfo* [online]. 2018, 28.1.2018 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/16878-mereni-po-fazich-je-pro-vlastniky-malych-fotovoltaike-problem-jak-mu-predejiti>
- [20] Fotovoltaické systémy. *Česká fotovoltaická asociace* [online]. Plzeň, 2016 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <http://www.cefas.cz/publikace/fotovoltaiicke-systemy.html>
- [21] Solax Power X3-4.0-T. *SolaX Power* [online]. 2018, 2018 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.solaxpower.com/wp-content/uploads/2017/10/X3-Mic-4-10kW-Data-Sheet-V3.pdf>

Seznam příloh

Všechny přílohy jsou v systému a na DVD nosiči z důvodů jejich velikosti.