

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh fotovoltaického systému pro rodinný dům

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří SCHOŘ**
Osobní číslo: **E11B0159P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Návrh fotovoltaického systému pro rodinný dům**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Navrhněte fotovoltaický systém pro zásobení elektřiny rodinného domu

1. Vyhodnoťte elektrickou náročnost zásobení rodinného domu.
2. Navrhněte FV systém pro pokrytí energetické spotřeby domu.
3. Proveďte porovnání s jinými možnostmi zásobení elektřiny.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Emil Dvorský, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **14. října 2013**
Termín odevzdání bakalářské práce: **9. června 2014**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Abstrakt

Obsahem této bakalářské práce je návrh FV systému pro rodinný dům. První část se zabývá zhodnocením zvoleného rodinného domu z hlediska energetické náročnosti a konstrukčních parametrů. Dále pak výpočet dopadající sluneční energie, samotný návrh systému a výběr komponentů systému. V závěru práce se nachází ekonomické vyhodnocení a výpočet návratnosti navrženého systému.

Klíčová slova

FV systém, TDD diagram, sluneční energie, elektrická energie, sluneční konstanta, FV panel, měnič napětí, svodič přepětí, elektroměr, distribuční síť, účinnost, ekonomické vyhodnocení, návratnost

Abstract

The main topic of this bachelor thesis is design of the PV systém for the family house. The first part deals with evaluation of the selected house in terms of energy and construction parameters. Then is calculation of solar energy, design system and selection system components. Economic evaluation and calculation of return of the systém are at the end of this work.

Key words

PV system, TDD diagram, solar energy, electric energy, solar constant, solar panel, voltage converter, surge voltage arrester, electrometer, distribution network efficiency, economic evaluation, investment returns

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské/diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 3.6.2014

Jméno a příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval všem lidem, zejména mé rodině, kteří mi byli oporou při tvorbě této bakalářské práce, ale také v průběhu celého studia. Zvláštní dík pak zasluží pan doc. Ing. Emil Dvorský, Csc, který mi poskytl cenné profesionální rady a odborné konzultace.

Obsah

Obsah	7
Seznam symbolů a zkratek.....	8
Seznam obrázků a tabulek.....	9
Úvod	11
4 Energetická náročnost budovy	12
4.1 Popis budovy.....	12
4.2 Tepelná náročnost.....	13
4.3 Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody.....	15
4.4 Elektrická náročnost	16
5 Návrh FV systému	17
5.1 Zhodnocení lokality a polohy rodinného domu.....	17
5.2 Výpočet dopadající energie	20
5.3 Komponenty FV systému	26
6 Zapojení FV systému s domovní sítí	34
6.1 Čerpání zelených bonusů.....	34
6.2 Přímý výkup.....	35
7 Ekonomické vyhodnocení a návratnost systému	36
7.1 Pořizovací náklady.....	36
7.2 Množství vyrobené elektrické energie.....	37
7.5 Daň z příjmu FVE, sociální a zdravotní pojištění.....	38
7.4 Návratnost při použití metody zelených bonusů.....	39
7.5 Návratnost při použití metody přímého výkupu.....	40
7.6 Porovnání možností zásobení elektrické energie.....	40
Závěr	41
Použitá literatura	42

Seznam symbolů a zkratek

$t_{e,i}$ – vnější teplota [$^{\circ}\text{C}$]	U – tepelná prostupnost [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
d – délka [m]	v – výška [m]
S – plocha [m^2]	S_v – plocha konstrukce [m^2]
Q_o – tepelná ztráta [W]	TDD – typový denní diagram
FV – fotovoltaický	FVE – fotovoltaická elektrárna
Z - součinitel znečištění atmosféry	I_0 - sluneční konstanta [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
h - výška Slunce nad obzorem [$^{\circ}$]	φ - zeměpisná šířka [$^{\circ}$]
δ - sluneční deklinace [$^{\circ}$]	τ - časový úhel [$^{\circ}$]
t - úhel určující pořadí daného dne [$^{\circ}$]	D - den v měsíci
M – měsíc	γ - úhel dopadu slunečních paprsků na plochu [$^{\circ}$]
α - úhel sklonu osluněné plochy [$^{\circ}$]	a_S - azimutový úhel normály osluněné plochy [$^{\circ}$]
a - azimut Slunce [$^{\circ}$]	I_p - intenzita přímého sl. záření
r - reflexní schopnost okolních ploch	I_{Dh} - intenzita difuzního sl. záření dopadající na vodorovnou plochu [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
I - intenzita globálního sl. záření	$Q_{S\text{den-teor}}$ - teoretické množství dopadající energie za den [Whm^{-2}]
I_D - intenzita difuzního sl. záření	τ_{teor} - teoretická doba sl. svitu [hod]
I_{Pn} - intenzita přímého sl. záření dopadající na vodorovnou plochu [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]	$Q_{S\text{mēs}}$ - skutečné množství energie dopadající za měsíc [$\text{Wh}\cdot\text{m}^{-2}$]
H - nadmořská výška [m n. m.]	DC – stejnosměrné
$Q_{D\text{den-teor}}$ - teoretické množství energie z difuzního záření [$\text{Wh}\cdot\text{m}^{-2}$]	DS – distribuční síť
$Q_{S\text{den}}$ - skutečné množství energie dopadající za den [$\text{Wh}\cdot\text{m}^{-2}$]	E – elektrická energie [Wh]
η – účinnost [%]	P – roční příjem z FV [Kč]
AC – střídavé	SP – sociální pojištění
DPH – daň z přidané hodnoty	ČP – čistý příjem [Kč]
$Z_{\text{daň}}$ – základ pro výpočet daně [Kč]	
ZP – zdravotní pojištění	
ZB – zelené bonusy	
VC – výkupní cena [Kč]	

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 4.1 – Náskres a orientace střechy

Obr. 5.1 – Sklon střechy

Obr. 5.2 – Sluneční záření převzato z [4]

Obr. 5.2 – Rozmístění FV panelů na střeše

Obr. 5.1 – FV panel převzato z [11]

Obr. 5.3 – Měnič napětí SMA TRIPOWER 10000TL převzato z [10]

Obr. 5.4 – Centrální spojení FV panelů převzato z [21]

Obr. 5.5 – Solární kabel převzato z [13]

Obr. 5.6 - CYKY 5Cx4(J)převzato z [15]

Obr.5.7– Svodič přepětí DC převzato z [17]

Obr. 5.8 – Svodič přepětí AC převzato z [18]

Obr. 5.9 – Elektroměr PRO370D 3x65A převzato z [20]

Obr. 6.1 - Blokové schéma zapojení pro čerpání zelených bonusů

Obr. 6.2 – Zapojení svodičů přepětí a hromosvodu převzato z [21]

Obr. 6.3 - Blokové schéma zapojení pro přímý výkup

Tab. 4.1 – Lokalita a vlastnosti budovy

Tab. 4.2 – Další vlastnosti budovy

Tab. 4.3 – Rozměry budovy

Tab. 4.4 – Vzduch

Tab. 4.5 – Parametry obálkové konstrukce budovy

Tab. 4.6 – Tepelná ztráta prostupem a větráním

Tab. 4.7 – Celková tepelná ztráta

Tab. 4.8 – Výpočet energie pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody

Tab. 4.9 – Celková spotřeba za uplynulá období

Tab. 5.1 – Hodnoty součinitele znečištění

Tab. 4.6 – Tepelná ztráta prostupem a větráním

Tab. 4.7 – Celková tepelná ztráta

Tab. 4.8 – Výpočet energie pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody

Tab. 4.9 – Celková spotřeba za uplynulá období

Tab. 5.1 – Hodnoty součinitele znečištění

Tab. 5.2 – Množství sluneční energie dopadající na m² osluněné plochy

Tab. 5.2 - Parametry FV panelu Suntech STP250S-20/Wd [7]

Tab. 5.3 – Parametry měniče napětí SMA TRIPOWER 10000TL [9]

Tab. 5.4 – Parametry solárního kabelu

Graf 4.1 – Typový denní diagram [2]

Graf 5.1 – Dopadající sluneční energie v jednotlivých měsících roku

Tab. 5.5 – Parametry CYKY 5Cx4(J) [14]

Tab. 5.6 – Parametry svodiče přepětí DC [16]

Tab. 5.7 – Parametry svodiče přepětí AC [18]

Tab. 5.8 – Materiál pro konstrukci FV systému [19]

Tab. 7.2 – Celková účinnost FV systému

Tab. 7.1 – Pořizovací náklady FV systému

Úvod

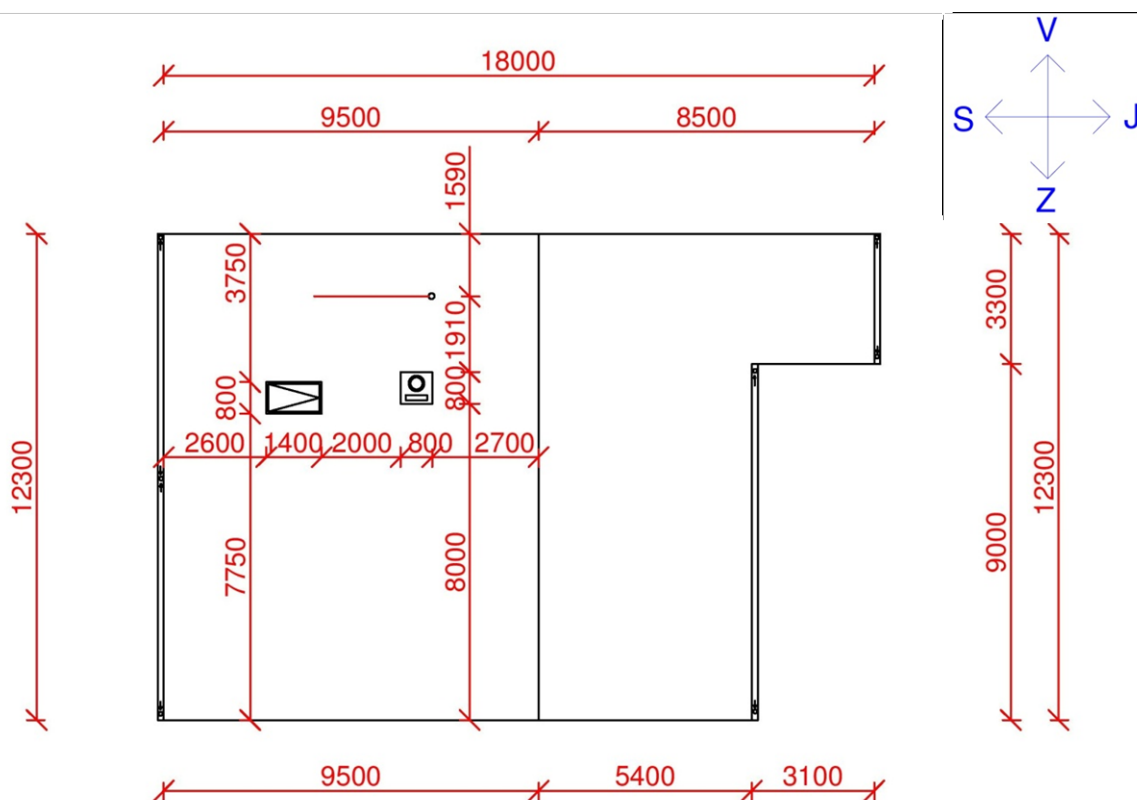
V dnešní době je lidská civilizace zcela závislá na elektrické energii. Bohužel je její výroba z největší části tvořena jadernými elektrárnami a elektrárnami na spalování fosilních paliv. Zdroje těchto paliv se neustále zmenšují, proto bychom se měli snažit využívat energii z obnovitelných zdrojů. Právě energie ze Slunce by mohla být tou správnou cestou, sluneční záření poskytuje dostatečné množství energie pro pokrytí naší denní potřeby, ročně dopadne na plochu o velikosti rodinného domu 100 MWh energie, přičemž průměrná roční spotřeba domu činí přibližně 30 MWh energie. Problém je v tom, že tuto energii nedokážeme využívat s dostatečnou efektivitou.

Největší rozvoj a výstavba fotovoltaických elektráren proběhla v roce 2005 až 2011. V dnešní době se investice do FV systému vzhledem k výkupním cenám téměř nevyplatí. V této bakalářské práci se budu zabývat právě návrhem tohoto FV systému, zhodnotím danou lokalitu a objekt pro instalaci systému, vypočítám teoretické množství dopadající sluneční energie a zvolím jednotlivé komponenty pro realizaci systému, který by měl pokrýt elektrickou spotřebu rodinného domu. Od této práce očekávám, že se vzhledem k nízkým výkupním cenám potvrdí nevýhodnost investice do FV systému.

4 Energetická náročnost budovy

4.1 Popis budovy

Rodinný dům se nachází v obci Tlumačov, která leží nedaleko okresního města Domažlice v nadmořské výšce 460 m n.m. Vzhledem k poloze v centru obce a řadové zástavbě je dům chráněný vůči větru. Dům je dvoupatrový s půdorysnými rozměry 12,75 m · 12,675 m. Obvodové zdi jsou z tvárnic o tloušťce 400 mm, dům je nezateplený. Plastová okna s pěti komorami a dvěma skly tvoří přibližně 40 % plochy obvodových zdí. Střecha je pokryta azbestocementovými vlnovými deskami o tloušťce 5 mm. Obytné a tedy i vytápěné části domu o celkové ploše 150 m² jsou orientovány jihozápadně. Sedlová střecha je orientována na východ a západ, což není pro instalaci FV systému vhodné, a proto jsme dům po domluvě s vedoucím práce pootočili. Pro tuto bakalářskou práci budeme tedy uvažovat, že východní část střechy bude orientována na jih. Nákres střechy již pootočeného domu je zobrazen na *Obr. 4.1*.



Obr. 4.1 – Nákres a orientace střechy

4.2 Tepelná náročnost

Abychom dokázali určit tepelné ztráty domu, musíme znát konstrukční vlastnosti budovy, použité materiály a jejich tloušťku. Tepelné ztráty nám udávají, jak velké množství tepla musíme do objektu dodávat, abychom dosáhli požadované vnitřní teploty. Pomocí online kalkulátoru jsme po dosazení všech známých hodnot spočítali celkovou tepelnou ztrátu domu, která činí 35 260 W. Tyto tepelné ztráty jsou však kritické, neboť jsou spočítány pro tabulkovou hodnotu dle lokality objektu, kdy je venkovní teplota -15 °C . Této hodnoty však dosáhnou venkovní teploty pouze zřídka, a proto jsou ve skutečnosti tepelné ztráty domu menší. Tomu odpovídá i instalovaný kotel na dřevoplyn o výkonu 32 kW.

Online kalkulátor využívá pro výpočet tepelných ztrát obálkovou metodu. Tato metoda posuzuje objekt jako prostor vytápěný na danou teplotu, zabalený v plášti o několika plochách s různým koeficientem tepelné prostupnosti. Vzhledem k vnější tabulkové výpočtové teplotě vypočteme touto metodou celkovou tepelnou ztrátu objektu. [1]

Výpočet tepelné ztráty objektu dle ČSN 06 0210.

Domažlice		Poloha budovy	Chráněná
Venkovní výpočtová teplota	-15 °C	Druh budovy	Řadová
Krajina	Normální	Charakteristické číslo budovy B	$3\text{ Pa}^{0,67}$
		Přirážka p_2 na urychlení zátoku	0,1

Tab. 4.1 – Lokalita a vlastnosti budovy

Zvětšení charakteristického čísla budovy ΔB	$4\text{ Pa}^{0,67}$
Venkovní výpočtová teplota t_e	-15 °C
Vnitřní výpočtová teplota t_i	22
Orientace místností	JZ => přirážka $p_3=0$
Počet těsněných dveří	2
Počet netěsněných dveří	0
Charakteristické číslo místnosti M	0,7

Tab. 4.2 – Další vlastnosti budovy

Půdorysný rozměr a	15 m	Půdorysný rozměr b	10 m	Půdorysná plocha objektu	150 m ²
Konstrukční výška VK	2,8 m	Světlá výška VS	2,3 m	Vypočtená plocha obáلكových konstrukcí	454 m ²
Vytápěný objem	420 m ³	Objem objektu Vm	345 m ³	Sečtená plocha všech konstrukcí	419.5 m ²

Tab. 4.3 – Rozměry budovy

Teplota větracího vzduchu t_{vv}	-15 °C
Intenzita výměny vzduchu n	1 h ⁻¹

Tab. 4.4 – Vzduch

Typ konstr.	Počet	$t_{e,i}$ [°C]	U [W/m ² K]	Plocha konstrukce					
				d [m]	v [m]	S [m ²]	S_v [m ²]	$S-S_d-S_v$ [m ²]	Q _o [W]
Obvod. zeď	1	-15	0,32	18	2,8	50,4		50,4	564,5
Obvod. Zeď	1	-15	0,32	7,3	2,8	20,5		20,5	229,6
Obvod. Zeď	1	-15	0,32	5,3	2,8	14,9	15,1	-0,17	-1,9
Okno	9	-15	1,1	1,2	1,4	1,68		15,12	582,1
Vnitřní stěna	1	-15	1,8	4,0	2,8	11,4		11,42	719,5
Podlaha	1	-15	1,72	10	15	150		150	9030
Střecha	1	-15	2,03	11	15	172		172,7	12270,3

Tab. 4.5 – Parametry obáلكové konstrukce budovy

ΣQ_o	23 394 W	Tepelná ztráta infiltrací Q_{inf}	0 W
Průměrný součinitel prostupu tepla k_c	1,472 W/m ² K	Tepelná ztráta větracím vzduchem $Q_{v,v}$	4360 W
Přirážka p_1	0,22	Tepelná ztráta větráním Q_v	4360 W
Přirážka p_2	0,1	Vypočtená intenzita výměny vzduchu $n_{vypočtená}$	1
Přirážka p_3	0		
Q_p	30 900 W		

Tab. 4.6 – Tepelná ztráta prostupem a větráním

Tepelná ztráta budovy Q_c	35 260 W
Měrná tepelná ztráta místnosti q_c	84 W/m ³

Tab. 4.7 – Celková tepelná ztráta

4.3 Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody

Lokalita		$t_{em} = 12^\circ\text{C}$	
Město	Domažlice	Délka topného období	$d=230$ dnů
Venkovní výp. teplota	-15°C	Prům. teplota během otopného období	$t_{es} = 4,7^\circ\text{C}$

Vytápění	
Tepelná ztráta objektu	$Q_C = 35,26$ kW
Průměrná vnitřní výpočtová teplota	$t_{is} = 22^\circ\text{C}$
Vytápěcí denostupně	$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 3979$ K·dny
Opravné součinitele a účinnosti systému	
$e_i = 0,85$	$\eta_o = 0,95$
$e_t = 0,8$	$\eta_r = 0,9$
$e_d = 1$	
Opravný součinitel	$\epsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d = 0,68$
$Q_{vyt,r} = \frac{\epsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_C \cdot D}{(t_{is} - t_{es})} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$	
260,6 GJ/rok	
$Q_{vyt,r} = <$	
72,4 MWh/rok	

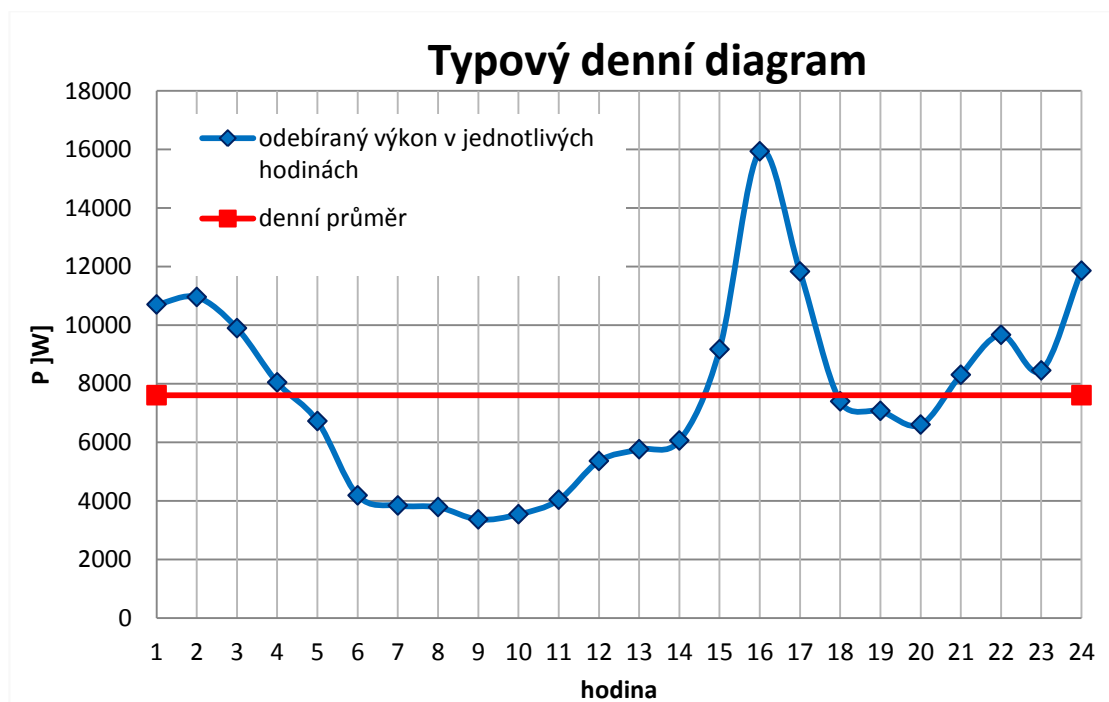
Ohřev teplé užitkové vody	
$t_1 = 10^\circ\text{C}$	$\rho = 1000$ kg/m ³
$t_2 = 55^\circ\text{C}$	$C = 4186$ J/kgK
$V_{2p} = 0,3$ m ³ /den	
Koeficient energetických ztrát systému	$z = 0,5$
Denní potřeba tepla pro ohřev teplé užitkové vody	
$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = 23,5$ kWh	
Teplota studené vody v létě	$t_{svl} = 15^\circ\text{C}$
Teplota studené vody v zimě	$t_{svz} = 5^\circ\text{C}$
Počet pracovních dní soustavy v roce	$N = 365$
$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d)$	
26,8 GJ/rok	
$Q_{TUV,r} = <$	
7,5 MWh/rok	

Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé užitkové vody	
287,4 GJ/rok	
$Q_r = Q_{vyt,r} + Q_{TUV,r} = <$	
79,8 MWh/rok	

Tab. 4.8 – Výpočet energie pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody

4.4 Elektrická náročnost

Pro stanovení přesné elektrické náročnosti domu bychom museli sledovat elektrický odběr každý den v průběhu celého roku. Budeme tedy vycházet pouze z teoretických hodnot. Teoretickou denní spotřebu v jednotlivých hodinách nám určuje typový denní diagram. Normalizovaný TDD (typový denní diagram) může být tvořen osmi křivkami jejíž tvar je určen spotřebitelským tarifem uvedeným ve smlouvě, kterou má odběratel uzavřenou s dodavatelem elektrické energie. Dle tabulkového rozdělení spotřebitelských tarifů jsme zjistili, že teoretická spotřeba el. energie by měla odpovídat křivce TDD-5. Při samotném návrhu FV systému a výběru instalovaného výkonu budeme vycházet ze střední hodnoty TDD-5. Zvolili jsem den, který je z pohledu energetické náročnosti statisticky jeden z nejnáročnějších, konkrétně 15. leden. Teoretický odběr el. energie vidíme v *Graf 4.1* [2].



Graf 4.1 – Typový denní diagram [2]

Takto by měla teoreticky vypadat spotřeba el. energie, pokud by však byl denní odběr každý den shodný podle TDD-5, činila by roční spotřeba desetinásobek skutečné spotřebované el. energie. Skutečná spotřeba v posledních 3 letech je uvedena v *Tab. 4.9*.

Období	Celková spotřeba (MWh)
12.11.2010 – 09.11.2011	4,451
10.11.2011 – 08.11.2012	5,088
9.11.2012 – 05.11.2013	5,812

Tab. 4.9 – Celková spotřeba za uplynulá období

5 Návrh FV systému

Výkon udávaný výrobcem FV panelů je pouze teoretický, ve skutečnosti se tyto hodnoty velmi liší od reálného použití a celkové návratnosti instalovaného systému. Skutečnou hodnotu výkonu ovlivňuje několik faktorů:

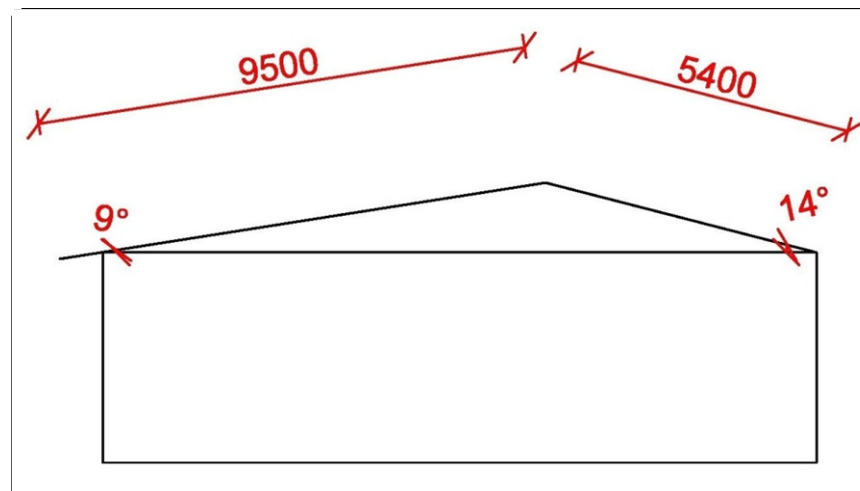
- Intenzita slunečního záření a množství dopadající energie
- Počasí během roku
- Orientace a sklon instalovaných panelů

Cílem našeho návrhu je tedy nastínit pokud možno co nejreálnější podmínky pro zjištění skutečného výkonu FV systému a určení doby jeho návratnosti.

5.1 Zhodnocení lokality a polohy rodinného domu

Zvolený objekt pro instalaci FV systému jsme si z hlediska stavebního provedení již popsali *kapitola 4.1*. Pro použití FV systému je však nutné zhodnotit i faktory ovlivňující množství dopadající energie. Rodinný dům se nachází jako první v řadové zástavbě, dopadající sluneční záření není tedy nijak omezované vedlejšími objekty, zároveň se v blízkosti domu nenachází žádný strom dosahující takové výšky, aby byl schopen zastínit plochu určenou pro instalaci FV panelů. Sklon střechy pro instalaci FV panelů není příliš vhodný, neboť její sklon je pouhých 14°, nejčastěji se volí instalace panelů pod úhlem 30° až 45°. Bokorys domu se znázorněným sklonem střechy vidíme na *Obr. 5.1*.

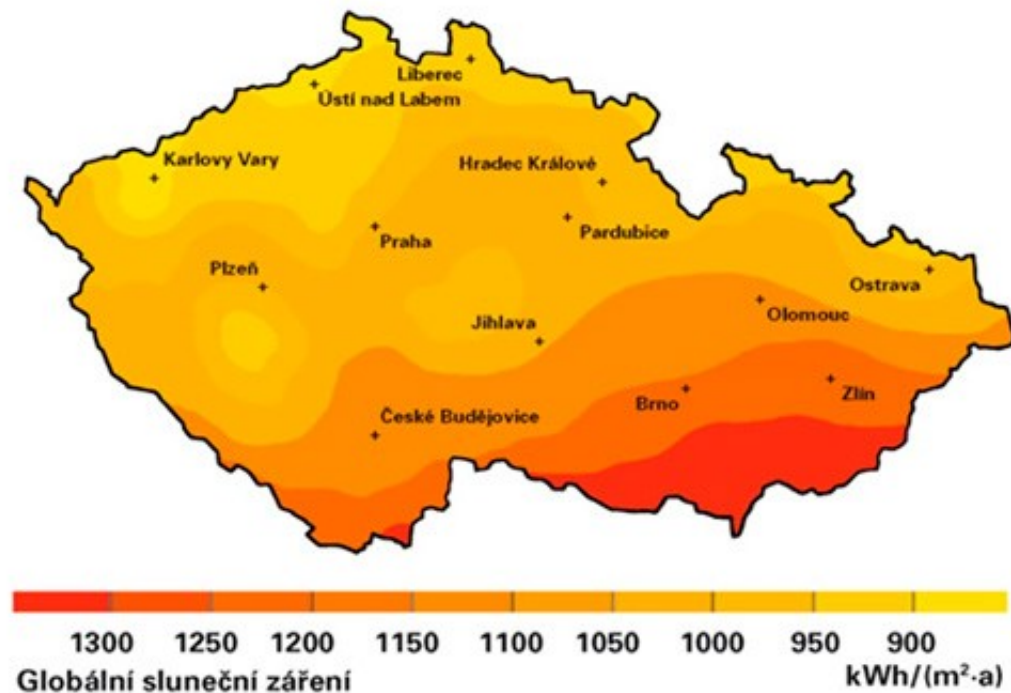
Bylo by možné upevnit panely na konstrukci, která by sklon střechy zvýšila na požadovanou hodnotu, to by však přineslo řadu problémů. Cena instalovaného systému by vzhledem ke složitější konstrukci vzrostla, dále by mohl nastat problém s nosností střechy a hlavně by se značně snížila účinná plocha střechy, neboť by se musela nechat mezi panely mezera, aby nedocházelo k zastínění panelů vedlejším panelem. Z těchto důvodů budeme realizovat návrh systému se sklonem 14° , k dispozici máme tedy $76,65 \text{ m}^2$ plochy, do které nám nezasahují žádná střešní okna a ani jiné objekty. Velikost této plochy je více než dostačující pro instalaci FV systému o celkovém výkonu, který pokrývá průměrnou denní spotřebu uvedenou v *Graf 4.1*.



Obr. 5.1 – Sklon střechy

Množství sluneční energie dopadající na zemský povrch je velmi nestále, mění se v jednotlivých dnech, měsících a i v jednotlivých letech. Vzhledem k tomu, že se v jednotlivých obdobích mění výška slunce a venkovní teploty, lze jen stěží předpovídat podmínky, ve kterých bude FV systém nejčastěji pracovat. Při jeho návrhu musíme tedy vycházet z průměrných hodnot zaznamenaných v uplynulých letech.

Na území České republiky se délka slunečního svitu příliš neliší a její hodnoty se pohybují průměrně kolem 1500 hod/rok. Avšak rozdíly v množství dopadající energie jsou již značné. Nejmenší množství sluneční energie dopadá na severozápadě našeho území a pohybuje se průměrně kolem 900 kWh/m^2 , naopak na jižní Moravě dopadá v porovnání přibližně o 45 % sluneční energie více, průměrně tedy 1300 kWh/m^2 [3]. Množství dopadající energie na jednotlivé části našeho území vidíme na *Obr. 5.2*.



Obr. 5.2 – Sluneční záření převzato z [4]

Množství dopadající energie na hranici zemské atmosféry se nazývá solární konstanta a dosahuje hodnoty $I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$ [5]. Na zemský povrch však nedopadá veškerá energie, neboť při průchodu atmosférou je spektrum slunečního záření pozměněno a ochuzeno o určitá pásma. K těmto změnám dochází na molekulách plynů, částicích prachu a aerosolů, neboť se zde část energie absorbuje a rozptýlí do okolí. Záření dopadající na zemský povrch se pak rozlišuje na přímé a difuzní (rozptýlené). Pro výrobu elektrické energie prostřednictvím FV panelů je pro nás nejvíce užitečné přímé záření, avšak při zatažené obloze je přítomna jen difuzní složka [4]. Byl zaveden tzv. součinitel znečištění atmosféry (5.1), který nám udává velikost změny intenzity slunečního záření při průchodu atmosférou.

$$Z = \frac{\ln(I_0) - \ln(I_n)}{\ln(I_0) - \ln(I_\xi)} \quad (5.1)$$

kde: I_0 - sluneční konstanta

I_n - intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při daném znečištění

I_ξ - intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při čistém ovzduší

Vzhledem k tomu, že se tento koeficient mění během roku, využívá se tabulkových hodnot pro určité oblasti *Tab. 5.1* [6]. Pro naši lokalitu budeme uvažovat součinitel znečištění $Z=3$.

Neznečištěná oblast, místa nad 2000 m n.m.	Neznečištěná oblast, místa nad 1000 m n.m.	Venkov bez průmyslu	Město bez průmyslu
2	2,5	3	4

Tab. 5.1 – Hodnoty součinitele znečištění

5.2 Výpočet dopadající energie

Množství vyrobené energie je zcela závislé na množství dopadající energie, proto je velmi důležité natočení a sklon FV panelu. Nejvíce vyrobené energie dostáváme, pokud sluneční paprsky dopadají kolmo na osluněnou plochu. Avšak poloha slunce se v závislosti na čase neustále mění a s tím se mění i množství dopadající energie. V každém okamžiku je pak poloha slunce dána jeho výškou h a azimutem a , pro které platí vztahy (5.2) a (5.3).

$$\sin(h) = \sin(\delta) \cdot \sin(\varphi) + \cos(\delta) \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(\tau) \quad (5.2)$$

$$\sin(a) = \frac{\cos(\delta)}{\cos(h)} \cdot \sin(\tau) \quad (5.3)$$

kde: φ – zeměpisná šířka (49,5° pro Domažlice)

δ – zeměpisná šířka, kde je v daný den v poledne Slunce kolmo na obzorem

τ – čas (časový úhel), měřeno od 12 hodin v poledne (jedna hodina odpovídá úhlu 15°)

V průběhu měsíce se sluneční deklinace mění každým dnem, proto se pro výpočty volí tzv. charakteristický den měsíce s určitou hodnotou δ . Výsledná hodnota intenzity záření se pak považuje za průměrnou hodnotu v daném měsíci. Sluneční deklinace pro zvolený den určíme ze vztahu (5.4).

$$\delta = 23,45^\circ \sin(t - 109^\circ) \quad (5.4)$$

kde: t – úhel určující pořadí daného dne v roce (D – den v měsíci, M – měsíc)

$$t = 0,98^\circ \cdot D + 29,7^\circ \cdot M \quad (5.5)$$

Pokud známe výšku Slunce nad obzorem h a azimut Slunce a , můžeme ze vztahu (5.6) určit úhel dopadajících slunečních paprsků na osluněnou plochu.

$$\cos(\gamma) = \sin(h) \cdot \cos(\alpha) + \cos(h) \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(a - a_s) \quad (5.6)$$

kde: γ - úhel mezi normálou dopadajících paprsků a normálou osluněné plochy
 α - úhel normály osluněné plochy od vodorovné plochy (sklon střechy 14°)
 a_s - azimutový úhel normály osluněné plochy (odklonění od jihu)

Jak již bylo řečeno, celkové sluneční záření se skládá z přímého a difuzního záření. Výsledná intenzita je tedy dána vztahem (5.7).

$$I = I_p + I_D \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (5.7)$$

Intenzita přímého slunečního záření, která projde atmosférou a dopadá kolmo na zemský povrch je dána vztahem (5.8).

$$I_{pn} = I_0 \cdot e^{\left(-\frac{Z}{\varepsilon}\right)} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (5.8)$$

kde: I_0 - sluneční konstanta
 Z - součinitel znečištění atmosféry
 ε - součinitel závislý na nadmořské výšce lokality a výšce Slunce nad obzorem, určený vztahem (5.9)

$$\varepsilon = \frac{9,38076 \cdot [\sin(h) + (0,003 + \sin^2(h))^{0,5}]}{2,0015 \cdot (1 - H \cdot 10^{-4})} + 0,91018 \quad (5.9)$$

kde: h - výška Slunce nad obzorem
 H - nadmořská výška dané lokality

Tímto jsme však spočítali pouze intenzitu záření dopadající na vodorovnou plochu, proto musíme dle vztahu (5.10) přepočítat intenzitu záření dopadající na osluněnou plochu pod úhlem γ .

$$I_p = I_{pn} \cdot \cos(\gamma) \quad [\text{W.m}^{-2}] \quad (5.10)$$

Pro přesnost výpočtu je nutné určit i difuzní záření (5.11).

$$I_D = 0,5 \cdot (1 + \cos(\alpha)) \cdot I_{Dh} + 0,5 \cdot r(1 - \cos(\alpha))(I_{ph} + I_{Dh}) \quad [\text{W.m}^{-2}] \quad (5.11)$$

kde: α - úhel sklonu osluněné plochy

r - reflexivní schopnost okolních ploch (0,15 – 0,25)

I_{ph} - intenzita přímého slunečního záření dopadající na vodorovnou plochu (5.12)

I_{Dh} - intenzita difuzního slunečního záření dopadající na vodorovnou plochu (5.13)

$$I_{ph} = I_{pn} \cdot \sin(h) \quad [\text{W.m}^{-2}] \quad (5.12)$$

$$I_{Dh} = 0,33 \cdot (I_0 - I_{pn}) \cdot \sin(h) \quad [\text{W.m}^{-2}] \quad (5.13)$$

Celkové dopadající množství energie $Q_{Sden-teor}$ určíme ze vztahu (5.14).

$$Q_{Sden-teor} = \sum I_{phod} \quad [\text{Wh.m}^{-2}] \quad (5.14)$$

kde: I_{phod} - intenzita přímého slunečního záření v jednotlivých hodinách dne

Mnohé dny však kvůli zatažené obloze dopadá na zemský povrch pouze difuzní záření, které určíme dle vztahu (5.15).

$$Q_{Dden-teor} = \sum I_{dhod} \quad [\text{Wh.m}^{-2}] \quad (5.15)$$

kde: I_{dhod} - intenzita difuzního slunečního záření v jednotlivých hodinách dne

Počasí se však neustále mění, proto je nutné uvažovat pro každý měsíc s průměrnou skutečnou dobou svitu. Průměrné množství dopadající množství energie v charakteristickém dni měsíce určíme ze vztahu (5.16).

$$Q_{Sden} = \tau \cdot Q_{Sden-teor} + (1 - \tau) \cdot Q_{Dden-teor} \quad [\text{Wh.m}^{-2}] \quad (5.16)$$

kde: τ – poměrná doba slunečního svitu určená vztahem (5.17)

$$\tau = \frac{\tau_{skut}}{\tau_{teor}} \quad (5.17)$$

Pokud vynásobíme množství dopadající energie během charakteristického dne Q_{Sden} počtem dnů v měsíci n . Získáme dle (5.18) množství dopadající energie v daném měsíci.

$$Q_{Směs} = n \cdot Q_{Sden} \quad [\text{Wh.m}^{-2}] \quad (5.18)$$

Pro samotný návrh FV systému nás zajímá celkové množství energie dopadající na osluněnou plochu během celého roku, které získáme součtem $Q_{Směs}$ jednotlivých měsíců.

Následují výpočty ukazují příklad výpočtu dopadající sluneční energie, pro charakteristický den měsíce srpna, konkrétně 15.srpen 14:00 až 15:00 hodin.

Nejprve vypočteme ze vztahu (5.5) úhel určující pořadí daného dne v roce.

$$t = 0,98 \cdot 15 + 29,7 \cdot 8 = 252,3^\circ$$

Poté ze vztahu (5.4) vypočteme zeměpisnou šířku, kde se slunce v charakteristický den nachází.

$$\delta = 23,45 \cdot \sin(252,3 - 109) = 14,01^\circ$$

Dále pomocí vztahů (5.2) a (5.3) určíme polohu slunce

$$\sin(h) = \sin(14,01) \cdot \sin(49,5) + \cos(14,01) \cdot \cos(49,5) \cdot \cos(30) = 0,7298$$

$$\sin(a) = \frac{\cos(14,01)}{0,6836} \cdot \sin(30) = 0,3839$$

Ze vztahu (5.6) zjistíme, pod jakým úhlem dopadají sluneční paprsky na osluněnou plochu.

$$\cos(\gamma) = 0,7298 \cdot \cos(14) + 0,6836 \cdot \sin(14) \cdot \cos(27,57) = 0,7645$$

Pro výpočet intenzity procházející atmosférou potřebujeme součinitel ε určený vztahem (5.9).

$$\varepsilon = \frac{9,38076 \cdot [0,7298 + (0,003 + 0,7298^2)^{0,5}]}{2,0015 \cdot (1 - 460 \cdot 10^{-4})} + 0,91018 = 7,1812$$

Intenzita procházející atmosférou vycházející ze vztahu (5.8).

$$I_{pn} = 1367 \cdot e^{\left(-\frac{3}{7,1812}\right)} = 900,204 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Skutečnou hodnotu přímého slunečního záření dopadající na osluněnou plochu FV systému vypočteme pomocí vztahu (5.10).

$$I_p = 900,204 \cdot 0,7645 = 688,258 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Pro určení hodnoty dopadající difuzního záření musíme nejdříve vypočítat vztahy (5.12) a (5.13).

$$I_{ph} = 900,24 \cdot 0,7298 = 657,005 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$I_{Dh} = 0,33 \cdot (1367 - 900,24) \cdot 0,7298 = 112,426 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Konkrétní hodnota dopadajícího difuzního slunečního záření je určena vztahem (5.11).

$$\begin{aligned} I_D &= 0,5 \cdot (1 + \cos(14)) \cdot 112,426 + 0,5 \cdot 0,15 \cdot (1 - \cos(14)) \cdot (657,005 + 112,426) = \\ &= 112,471 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

Celkové množství přímého slunečního záření dopadající na osluněnou plochu je určeno vztahem (5.14).

$$Q_{sden-teor} = 6940,6785 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Celkové množství difuzního slunečního záření dopadající na osluněnou plochu je určeno vztahem (5.15).

$$Q_{sden-teor} = 1322,769 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Musíme si však zjistit poměrnou dobu slunečního svitu pomocí vztahu (5.17).

$$\tau = \frac{6,934}{14,5} = 0,4782$$

Nyní již můžeme vypočítat teoretickou hodnotu dopadajícího slunečního záření na osluněnou plochu (5.16).

$$Q_{sden} = 0,4782 \cdot 6940,678 + (1 - 0,4782) \cdot 1322,769 = 4009,29 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Pro výpočet dopadající energie v průběhu celého měsíce vynásobíme Q_{sden} počtem dnů v měsíci (5.18).

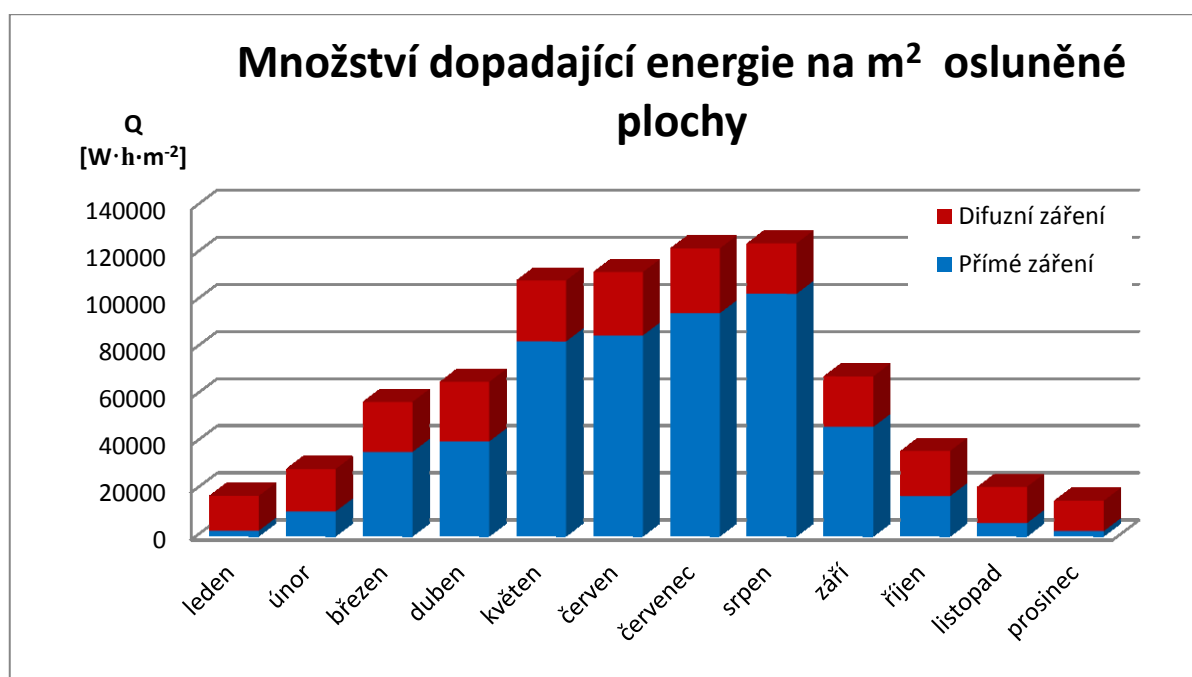
$$Q_{směs} = 31 \cdot 4009,29 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Celkové množství dopadající sluneční energie je uvedeno v Tab. 5.2.

měsíc v roce	Q [W·h·m ⁻²]
leden	17 188,3
únor	28 565,6
březen	57 029,67
duben	65 535,74
květen	108 546,1
červen	112 104
červenec	122 105,3
srpen	124 288,1
září	67 871,74
říjen	36 257,4
listopad	21 017,62
prosinec	15 136,53
celkem za rok	775 646,0424

Tab. 5.2 – Množství sluneční energie dopadající na m² osluněné plochy

Vypočítané teoretické hodnoty dopadající energie slunečního záření jsou zobrazeny v *Graf 5.1*, největší množství energie dopadá jednoznačně v květnu a v letních měsících, kdy teoreticky dopadá na osluněnou plochu přes $100 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}$ sluneční energie. Naopak listopad a zimní měsíce roku jsou pro celkové množství dopadající sluneční a tedy i pro množství vyrobené elektrické energie v podstatě bezvýznamné. V tomto období je téměř celá část slunečního záření tvořena pouze difuzní složkou. Tyto hodnoty jsou pouze teoretické, s každým rokem se mění vlivem počasí, zejména oblačnosti. Z těchto hodnot budeme vycházet v *kapitola 7*, která se zabývá ekonomickou návratností celého FV systému.

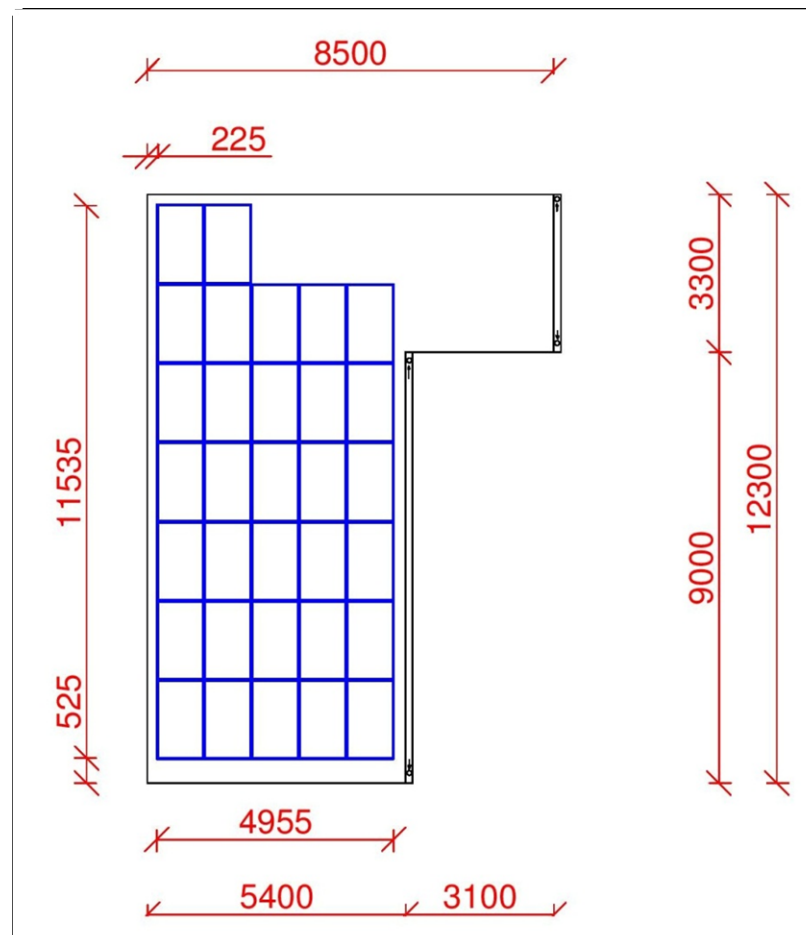


Graf 5.1 – Dopadající sluneční energie v jednotlivých měsících roku

5.3 Komponenty FV systému

FV panely

FV panely tvoří jednu z nejdůležitějších částí samotného systému, pomocí FV jevu dostáváme na výstupních svorkách FV panelu stejnosměrnou elektrickou energii. Celkové množství vyrobené elektrické energie závisí na množství dopadající energie, kterou jsme spočítali v *kapitola 5.2*, ale také na maximálním výkonu a účinnosti FV článků. Pro realizaci systému jsem použil panely od výrobce Suntech, tato firma vstoupila na český trh v roce 2009, v zahraničí má však již 13 let zkušeností. Konkrétně byly vybrány monokrystalické panely s typovým označením Suntech STP250S-20/Wd *Obr. 5.1*. Přesné parametry jsou uvedeny v *Tab 5.3* [7]. Rozmístění FV panelů na střeše je zobrazeno na *Obr.5.2*.



Obr. 5.2 – Rozmístění FV panelů na střeše

Suntech STP250S-20/Wd	
Optimální pracovní napětí (V_{mp})	30,7 V
Optimální pracovní proud (I_{mp})	8,15 A
Napětí naprázdno (V_{oc})	37,4 V
Proud nakrátko (I_{sc})	8,63 A
Maximální výkon	250 W
Účinnost modulu	15,2 %
Pracovní teplota modulu	-40°C až +85°C
Maximální systémové napětí	1000 V DC
Maximální sériové jištění	20 A
Rozměry	166,5 · 99,1 cm
Cena s DPH	9 120,- Kč

Tab. 5.3 - Parametry FV panelu Suntech STP250S-20/Wd [7]

The logo for SUNTECH, featuring a red square with a white diagonal line to the left of the word "SUNTECH" in a bold, black, sans-serif font.

Obr. 5.1 – FV panel převzato z [11]

Měnič napětí

Solární fotovoltaické panely vyrábí stejnosměrné napětí, které musíme převést na napětí vhodné pro naši síť. Toho dosáhneme pomocí měniče napětí (přesněji střídače), s jehož pomocí transformujeme stejnosměrné napětí na střídavé, s parametry slučitelnými s domovní rozvodnou sítí (230 V, 50 Hz). Pro náš návrh jsme zvolili měnič od výrobce SMA TRIPOWER 10000TL Obr. 5.3 o výkonu 10 kW. Instalovaný FV systém sice dosahuje maximální teoretického výkonu 8 kW, avšak pro prodloužení životnosti měniče se doporučuje používat měnič s 20 % rezervou uvedeného maximálního výkonu. Při sériovém spojení 32 FV panelů bude dosahovat výsledná hodnota maximálního napětí 982,4 V a maximálního proudu 8,15 A. [8] Přesné parametry měniče jsou uvedeny v Tab. 5.4 [9].

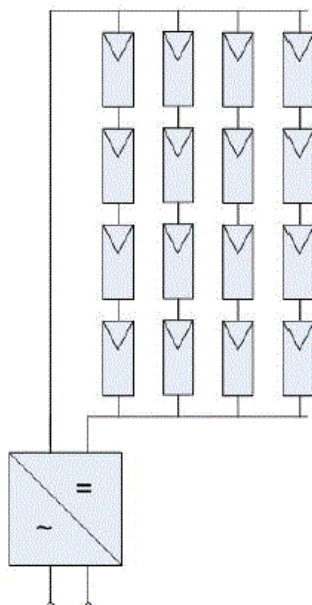
Vstupní údaje DC	
Maximální výkon DC při $\cos \varphi=1$	10 200 W
Maximální DC napětí	1000 V
Rozsah MPP napětí	320 V – 800 V
Jmenovité DC napětí	600 V
Minimální DC napětí	150 V / 188 V
Maximální proud na každý string	A: 22 A, B:11 A / 33 A
Počet sledovačů MPP	2 / A:4, B:1
Výstupní údaje AC	
Jmenovitý AC výkon (při 230 V, 50 Hz)	10 000 W
Max. zdánlivý výkon AC	10 000 VA
Jmenovité AC napětí; rozsah	3/N/PE, 230 V / 400 V; 160 V – 280 V
Síťová frekvence AC; rozsah	50, 60 Hz; - 6 Hz, +5 Hz
Maximální výstupní proud	19,2 A
Účinnost ($\cos \varphi$)	0,8
Účinnost	98,1 %
Cena s DPH	94 493,- Kč

Tab. 5.3 – Parametry měniče napětí SMA TRIPOWER 10000TL [9]



Obr. 5.3 – Měníč napětí SMA TRIPOWER 10000TL převzato z [10]

FV panely budou zapojeny do centrálního spojení *Obr 5.4*. Výhody tohoto zapojení jsou velká účinnost a použití pouze jednoho měniče napětí, který je cenově velmi náročný [21].



Obr. 5.4 – Centrální spojení FV panelů převzato z [21]

Vodiče DC

Pro spojení jednotlivých FV panelů k měniči napětí je nejlepším řešením použití solárních kabelů, které mají výborné vlastnosti v nízkonapěťovém systému při práci s vysokými proudy. Má nízké ztráty, dlouhou životnost a izolace kabelu je navržena pro dlouhodobé vystavení UV záření. Pro návrh byl vybrán solární kabel od výrobce Sun Pi o průřezu 4 mm² *Obr 5.5*. Pro spojení všech panelů je zapotřebí 65 m solárního kabelu, přesné parametry jsou uvedeny v *Tab. 5.4* [12].

Jmenovitý průřez	4 mm ²
Jmenovité napětí	600/100 V
Teplota	- 40° C do + 90° C
Odpor	0,00485 Ω/m
Cena s DPH	21,- Kč/m

Tab. 5.4 – Parametry solárního kabelu



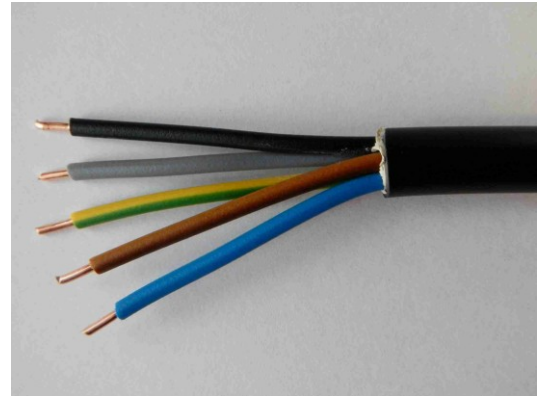
Obr. 5.5 – Solární kabel převzato z [13]

Vodiče AC

Od napěťového měniče vedeme elektrický proud třífázovou soustavou pomocí kabelu CYKY 5Cx4 (J) Obr 5.6 [14]. Tímto typem kabelu bude propojen měnič napětí, svodiče přepětí a elektroměry, celková délka by neměla přesáhnout 20 m. Parametry vodiče jsou uvedeny v Tab. 5.5.

Počet žil x jmenovitý průřez	5 x 4 mm ²
Tloušťka izolace	9 mm
Proudová zatížitelnost vzduch/země	30 A / 40 A
Jmenovité napětí	450 V / 750 V
Odpor jádra	0,0047 Ω/m
Cena s DPH	60,- Kč/m

Tab. 5.5 – Parametry CYKY 5Cx4(J) [14]



Obr. 5.6 - CYKY 5Cx4(J) převzato z [15]

Na každém vedení vznikají určité ztráty, které vypočítáme pomocí vztahu (5.19) a poté pomocí vztahu (5.20) určíme procentuální účinnost vedení z hlediska ztrát.

DC vedení:

$$P_{DC} = l \cdot R \cdot I^2 = 65 \cdot 0,00485 \cdot 8,15^2 = 20,9396 \text{ W} \quad (5.19)$$

kde: l – délka vedení

R – elektrický odpor vedení na 1 m délky

I – maximální provozní proud

$$\eta_{DC} = 100 - \frac{P_{DC}}{P_{max}} = 100 - \frac{20,9396}{8000} = 99,997 \% \quad (5.20)$$

kde: P_{max} = maximální výkon na vedení

AC vedení:

$$P_{AC} = l \cdot R \cdot I^2 = 20 \cdot 0,0047 \cdot 19,2^2 = 34,6522 \text{ W} \quad (5.19)$$

$$\eta_{AC} = 100 - \frac{P_{AC}}{P_{max}} = 100 - \frac{34,6522}{8000} = 99,995 \% \quad (5.20)$$

Svodiče přepětí

Svodiče přepětí chrání FV systém před vzniklým přepětím, tím je myšleno napětí, které dosáhne minimálně dvojnásobné hodnoty jmenovitého napětí U_n . Svodič přepětí musí být zapojen na DC vedení mezi FV panely a měničem napětí *Obr. 5.7*, ale také za měničem napětí na AC vedení *Obr. 5.8* Parametry svodiče přepětí pro DC jsou uvedeny v *Tab. 5.6* a pro AC vedení v *Tab.5.7* [16],[18].

ABB – OVR PV 40 1000 P	
Střídač U_{max}	1 000 V
Svodová kapacita	40 kA
Ochranná úroveň U_p	3,8 kV
Cena s DPH	3 088,- Kč

Tab. 5.6 – Parametry svodiče přepětí DC [16]



Obr.5.7– Svodič přepětí DC převzato z [17]

Noark Ex9UE1+2 12,5kA 3P	
Max. impulzní proud	12,5 kA
Max. pracovní napětí	275 V
Počet pólů	3
Cena s DPH	2 716,- Kč

Tab. 5.7 – Parametry svodiče přepětí AC [18]



Obr. 5.8 – Svodič přepětí AC převzato z [18]

Konstrukce

FV panely musí být na střeše přimontovány ke konstrukci, která je tvořena hliníkovými nosníky, přichycenými pomocí střešních háků k dřevěným trámům krovu. Nosníky jsou dodávány v délce 6 m, potřebné délky dosáhneme spojení s dalším nosníky pomocí spojky profilu nosníku. Na tyto hliníkové profily jsou usazovány jednotlivé FV panely. Krajiní hrany panelů FV systému jsou přichyceny k nosníku pomocí krajové upínky, ostatní pomocí středové upínky. Všechny konce nosníku jsou opatřeny plastovou koncovkou. Seznam potřebného materiálu na montáž konstrukce je zobrazena v *Tab. 5.8* [19].

Část konstrukce	Počet kusů	Cena za kus s DPH	Cena s DPH
Schletter Al nosník SOLO 05-6m	20	1 149,- Kč	22 980,- Kč
Spojka profilu nosníku	10	46,- Kč	460,- Kč
Koncovka nosníku profilu Schletter	10	18,- Kč	180,- Kč
Střešní hák ECOS	74	171,- Kč	12 654,- Kč
Schletter krajová upínka	20	60,- Kč	1 200,- Kč
Schletter středová upínka	54	58,- Kč	3 132,- Kč
Samořezný vrut do dřeva	320	10,- Kč	3 200,- Kč
Ostatní spojovací materiál	1	1 000,- Kč	1 000,- Kč
Cena s DPH celkem		44 806,- Kč	

Tab. 5.8 – Materiál pro konstrukci FV systému [19]

Elektroměr

Pro provoz systému je nutné připojení dvou elektroměrů, pro měření množství vyrobené elektrické energie jsme zvolili třífázový elektroměr PRO370D 3x65A Obr. 5.9 [20].

- Přímé měření do 65 A
- Třída přesnosti 1
- Přizpůsoben pro připojení k FV elektrárnám, kde lze předpokládat sníženou kvalitu napětí ze střídačů
- Třífázově připojené zdroje
- Cena s DPH: 3872,- Kč



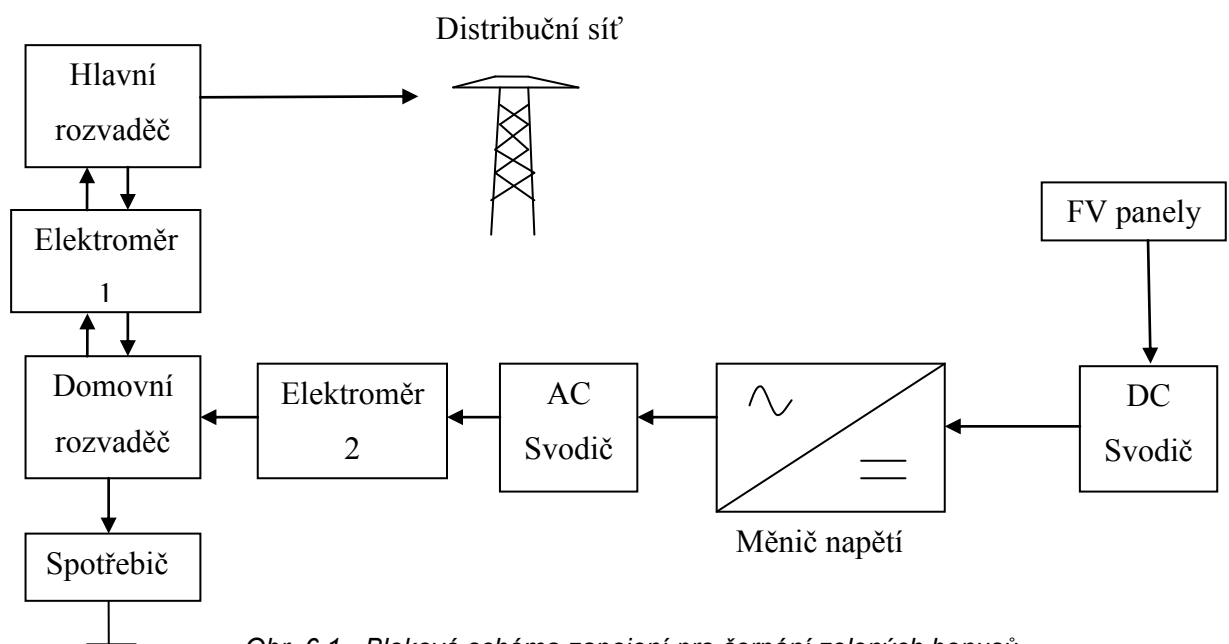
Obr. 5.9 – Elektroměr PRO370D 3x65A převzato z [20]

6 Zapojení FV systému s domovní sítí

Při provozu vlastní FV elektrárny máme dvě možnosti, jak naložit s vyrobenou elektrickou energií. První možnost je čerpání zelených bonusů, kdy elektrickou energii vyrobenou pomocí vlastní FV elektrárny spotřebováváme v domovní síti, v případě přebytku elektrickou energii prodáváme a v případě nedostatku ji naopak dokupujeme. Druhá možnost je prodávat veškerou vyrobenou elektrickou energii distributorovi za předem domluvené výkupní ceny a potřebnou elektrickou energii pro provoz domácnosti odebírat běžným způsobem. [21]

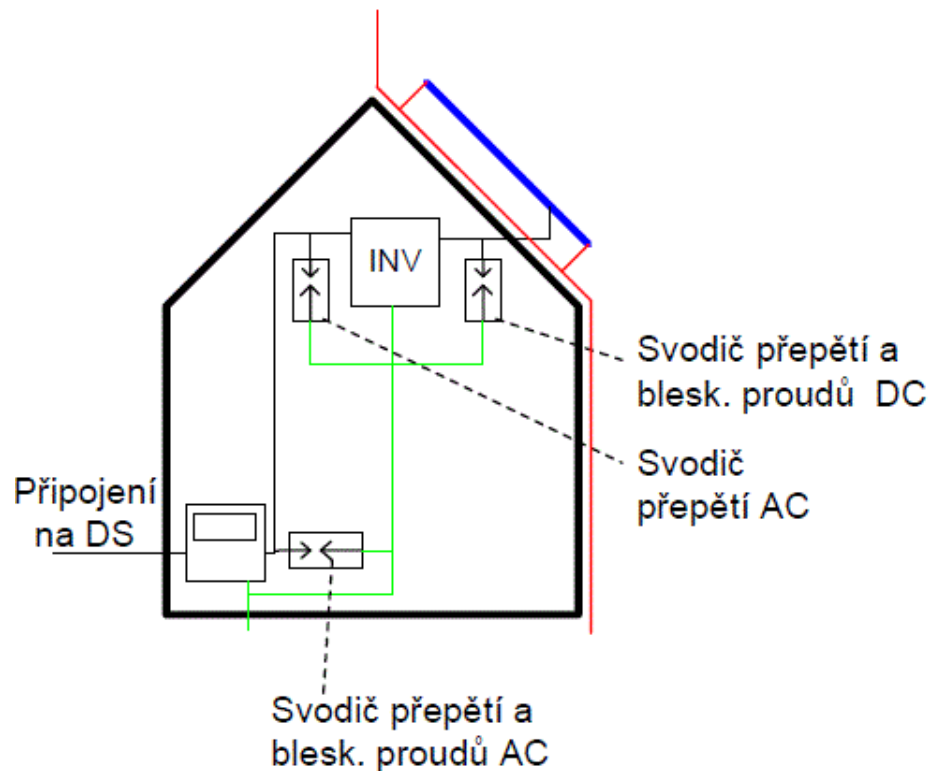
6.1 Čerpání zelených bonusů

Při volbě metody čerpání zelených bonusů musíme uvažovat, že za každou kWh elektrické energie z FV elektrárny dostaneme částku stanovenou Energetickým regulačním systémem [22]. Tuto elektrickou energii využíváme pro pokrytí elektrické spotřeby domu, tímto zároveň ušetříme částku, kterou bychom za běžných provozních podmínek museli distributorovi zaplatit, tato částka je uvedena na faktuře, neustále se mění, ale pro výpočet budeme uvažovat částku 4,71 Kč za 1 kWh elektrické energie ve vysokém tarifu. Přebytky elektrické energie dodáváme do sítě. Při připojení FV systému k distribuční síti do konce roku 2013 činil zelený bonus částku 1,879 Kč za 1 kWh elektrické energie. Blokové schéma pro připojení k distribuční síti je zobrazeno na *Obr. 6.1* [21].



Obr. 6.1 - Blokové schéma zapojení pro čerpání zelených bonusů

Měníč napětí bude umístěn co nejbližší k FV panelům, tedy v neobydlených podkrovních prostorách domu, kde bude zároveň umístěn DC a AC svodič přepětí. Elektroměr 2 (PRO370D 3x65A) bude spolu se stávajícím elektroměrem umístěn v přízemí u domovního rozvaděče. Elektroměr 2 měří množství vyrobené elektrické energie a elektroměr 1 měří elektrickou energii dodávanou do domu z distribuční sítě ve chvíli, kdy výkon z FV elektrárny nestačí pro pokrytí elektrické spotřeby domu. Zemnicí svorky FV panelů budou spojeny s domovním hromosvodem *Obr. 6.2*.

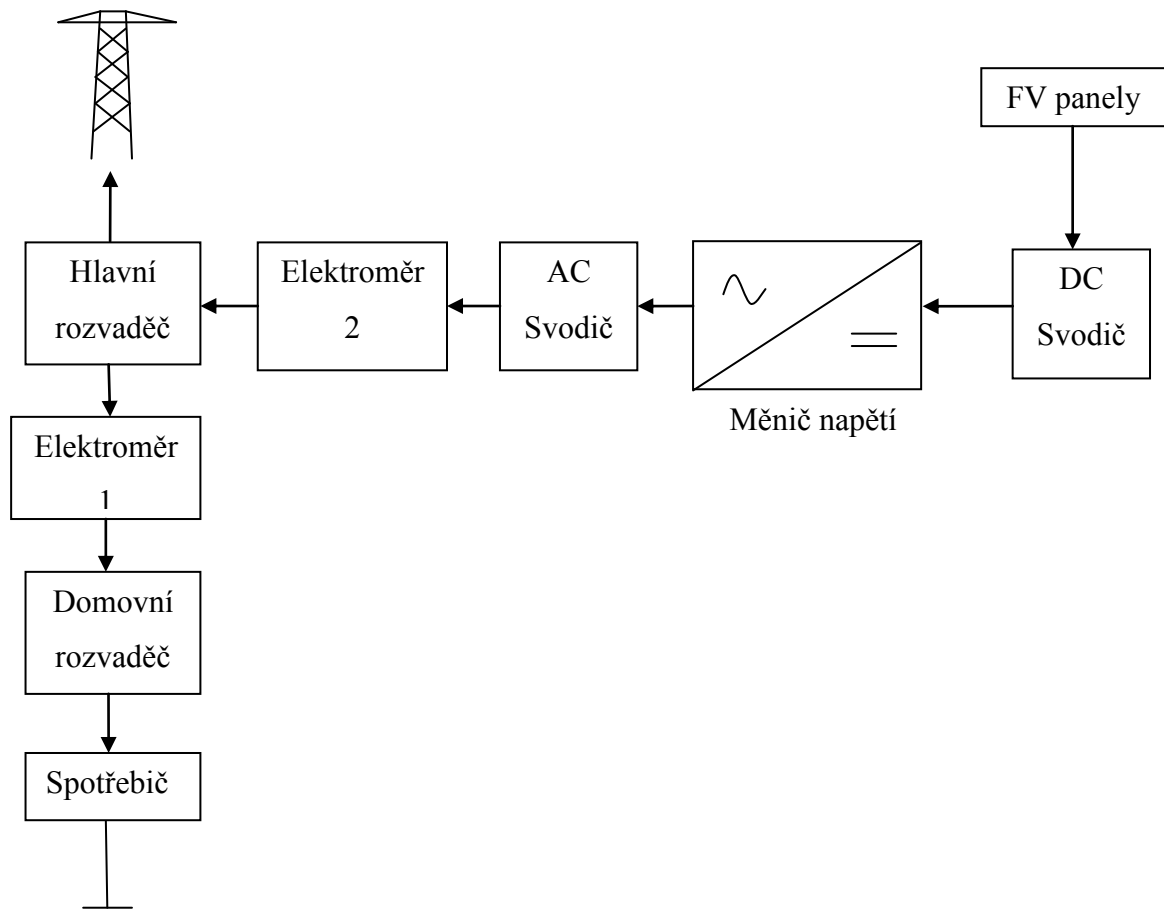


Obr. 6.2 – Zapojení svodičů přepětí a hromosvodu převzato z [21]

6.2 Přímý výkup

Tento způsob spočívá v prodeji veškeré vyrobené elektrické energie do distribuční sítě za výkupní cenu 2,479 Kč za 1 kWh elektrické energie [21]. Elektrickou energii nutnou pro pokrytí elektrické spotřeby domu odebíráme od distributora běžným způsobem. Blokované schéma zapojení je zobrazeno na *Obr. 6.3*, rozmístění jednotlivých komponentů, zapojení svodičů přepětí a hromosvodu, je stejné jako u metody čerpání zelených bonusů v *kapitola 6.1* a *Obr.6.2*. Elektroměr 2 (PRO370D 3x65A) měří množství vyrobené elektrické energie, kterou budeme dodávat do distribuční sítě a jako elektroměr 1 opět použijeme stávající elektroměr.

Distribuční síť



Obr. 6.3 - Blokové schéma zapojení pro přímý výkup

7 Ekonomické vyhodnocení a návratnost systému

V poslední části bakalářské práce vyhodnotíme celkové pořizovací náklady FV systému, množství vyrobené elektrické energie, ale také návratnost při využití zelených bonusů a metody přímého výkupu.

7.1 Pořizovací náklady

Do celkových nákladů musíme započítat nejen ceny jednotlivých komponentů a použitého materiálu, ale také přibližnou částku za montáž a revize systému, budeme uvažovat částku 20 000 Kč. Veškeré náklady na pořízení FV systému jsou uvedeny v *Tab. 7.1*, všechny uvedené částky jsou včetně DPH. Celková pořizovací cena je stejná, jak pro metodu čerpání zelených bonusů, tak při přímém výkupu vyrobené elektrické energie.

Komponent	Počet [ks,m]	Cena / ks,m [Kč]	Cena celkem [Kč]
FV panel - Suntech STP250S-20/Wd	32	9120,-	291 840,-
Měnič napětí - SMA TRIPOWER 10000TL	1	94 493,-	94 493,-
DC vodič	65	45,-	2 925,-
AC vodič	20	60,-	1 200,-
Svodič napětí - ABB – OVR PV 40 1000 P	1	3 088,-	3 088,-
Svodič napětí - Ex9UE1+2 12,5kA 3P	1	2 716,-	2 716,-
Nosná konstrukce	1	44 806,-	44 806,-
Elektroměr - PRO370D 3x65A	1	3 872,-	3 872,-
Montáž a revize systému	1	20 000,-	20 000,-
Celková cena systému			464 940,-

Tab. 7.1 – Pořizovací náklady FV systému

7.2 Množství vyrobené elektrické energie

Pro výpočet množství vyrobené elektrické energie pomocí FV systému potřebujeme znát množství dopadající sluneční energie na osluněnou plochu a účinnost celého systému. Dopadající sluneční záření jsme již vypočítali v kapitola 5.2 a celkovou účinnost získáme ze součinu účinností jednotlivých komponentů celého systému, které jsou uvedeny v Tab. 7.2.

Komponent	Účinnost
FV panel - Suntech STP250S-20/Wd	15,2 %
Měnič napětí - SMA TRIPOWER 10000TL	98,1 %
DC vodič	99,997 %
AC vodič	99,995 %
Celková účinnost systému	14,91 %

Tab. 7.2 – Celková účinnost FV systému

Budeme tedy uvažovat, že každý rok dopadne na 1 m² osluněné plochy 775 646,0424 kWh sluneční energie. Z datasheetu zvoleného FV panelu Suntech vidíme, že velikost účinné plochy jednoho panelu je 1,51 m². Celý FV systém je dohromady tvořen 32 panely, celková účinná osluněná plocha tedy činí 48,32 m². Teoretické množství elektrické energie vyrobené za 1 rok je dáno vztahem (7.1).

$$E = Q_{rok} \cdot \eta \cdot S = 775\,646,0424 \cdot 0,1491 \cdot 48,32 = 5,588151 \text{ MW} \cdot h^{-1} \quad (7.1)$$

kde: E – vyrobená elektrická energie za 1 rok

Q_{rok} – dopadající sluneční energie na osluněnou plochu za 1 rok

η – celková účinnost FV systému

S – účinná plocha FV systému

7.5 Daň z příjmu FVE, sociální a zdravotní pojištění

Od 1.1.2011 podléhají provozovatelé FVE dani z příjmu. Tato daň se vztahuje na přímý výkup elektrické energie, ale také na čerpání zelených bonusů. Odvádíme daň ve výši 15 %. Vyměřovacím základem pro výpočet daně je roční příjem z FVE snížený o 40 % příjmu z FVE. Příklad zdanění pro roční příjem 15 000 Kč je uveden ve vztahu (7.2) [23].

$$\begin{aligned} \text{Daň} &= Z_{daň} \cdot 15 \% = [P - (40 \% \cdot P)] \cdot 15 \% = [15\,000 - (0,4 \cdot 15\,000)] \cdot 0,15 = \\ &= 1350 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (7.2)$$

kde: Daň – odváděná daň z příjmu

$Z_{daň}$ – základ pro výpočet daně

P – roční příjem z FVE

Příjmy z provozu FVE podléhají také zdravotnímu a sociálnímu pojištění, sociální pojištění odvádět nemusíme, protože rozhodná částka pro výpočet pojištění nepřesáhne 62 121 Kč. Zdravotní pojištění však odvádět musíme, jeho výše je stanovena 13,5 % z rozhodné částky, kterou tvoří základ pro výpočet daně snížený o 50 %. Příklad výpočtu zdravotního pojištění pro roční příjem 15 000 Kč je uveden ve vztahu (7.3).[23]

$$ZP = (Z_{daň} \cdot 50 \%) \cdot 13,5 \% = (9000 \cdot 0,5) \cdot 0,135 = 607,50 \text{ Kč} \quad (7.3)$$

7.4 Návratnost při použití metody zelených bonusů

Metodu zelených bonusů jsme si již popsali kapitola 6.1, za každý $\text{kW}\cdot\text{h}^{-1}$ vyrobené elektrické energie inkasujeme zelený bonus, přebytky od nás distributor sice odkupuje, avšak výkupní částka je velmi nízká, pohybuje se kolem $0,50 \text{ Kč}$ za $1 \text{ kW}\cdot\text{h}^{-1}$ elektrické energie. Vzhledem k výkupní ceně a z důvodu velikosti celkové roční spotřeby, tuto částku zanedbáme. Roční příjem z FVE je vypočten vztahem (7.4), uvažujeme, že v domovní síti spotřebujeme veškerou vyrobenou elektrickou energii.

$$P = E \cdot ZB = 5,588151 \cdot 2479 = 13\,853,03 \text{ Kč} \quad (7.4)$$

kde: E – vyrobená elektrická energie za 1 rok (7.1)

ZB - zelené bonusy [22]

Výpočet odváděné daně (7.2) a zdravotního pojištění (7.3).

$$Daň = [13853,03 - (0,4 \cdot 13853,03)] \cdot 0,15 = 1\,246,77 \text{ Kč} \quad (7.2)$$

$$ZP = 8311,82 \cdot 0,5 \cdot 0,135 = 561,05 \text{ Kč} \quad (7.3)$$

Čistý roční příjem je tedy dán vztahem (7.4).

$$\check{P} = P - Daň - ZP = 13853,03 - 1246,77 - 561,05 = 12\,045,21 \text{ Kč} \quad (7.5)$$

To je však pouze částka fakturovaná distributorovi, musíme brát v potaz, že za veškerou vyrobenou elektrickou energii spotřebovanou v domovní síti ušetříme částku, za kterou bychom museli při běžném odběru zaplatit distributorovi. Celkový roční zisk metodou čerpání zelených bonusů je dán vztahem (7.5).

$$Zisk = \check{P} + (E \cdot 4710) = 12045,21 + (5,588151 \cdot 4710) = \mathbf{38\,365,40 \text{ Kč}} \quad (7.6)$$

Pokud uděláme podíl celkových pořizovacích nákladů a ročního zisku, zjistíme za kolik let se nám investice to FV systému vrátí. U metody čerpání zelených je návratnost přibližně 12 let.

7.5 Návrh návratnosti při použití metody přímého výkupu

Při volbě metody přímého výkupu od nás distributor vykupuje veškerou vyrobenou energii za výkupní částku 1 879 Kč za 1 MWh elektrické energie[22]. Roční příjem musíme opět zdanit a odvést zdravotní pojištění.[23] Roční příjem je tedy dán vztahem (7.7)

$$P = E \cdot VC = 5,588151 \cdot 1879 = 10\,500,14 \text{ Kč} \quad (7.7)$$

kde: E – vyrobená elektrická energie za 1 rok (7.1)

VC - výkupní cena [22]

Výpočet odváděné daně (7.2) a zdravotního pojištění (7.3).

$$Daň = [10500,14 - (0,4 \cdot 10500,14)] \cdot 0,15 = 945,01 \text{ Kč} \quad (7.2)$$

$$ZP = 6300,09 \cdot 0,5 \cdot 0,135 = 425,26 \text{ Kč} \quad (7.3)$$

Čistý roční příjem je tedy dán vztahem (7.4).

$$\check{C}P = P - Daň - ZP = 10500,14 - 945,01 - 425,26 = 9129,87 \text{ Kč} \quad (7.4)$$

Návratnost FV systému zjistíme stejným způsobem jako u metody čerpání zelených bonusů. U metody přímého výkupu je návratnost přibližně 51 let.

7.6 Porovnání možností zásobení elektrické energie

Z předchozích kapitol vychází jednoznačně lépe metoda čerpání zelených bonusů, kdy je návratnost FV systému 12 let. Metoda přímého výkupu je vzhledem k životnosti systému zcela nepoužitelná. Pokud bychom tedy uvažovali o instalaci FV systému, tak jedine s použitím metody čerpání zelených bonusů. Nejvýhodnější instalace FV systému byla v roce 2007, kdy se zelené bonusy pohybovaly přes 15 000 Kč za 1 MWh, což je oproti roku 2013 více než šestinásobek.

Závěr

V této bakalářské práci jsem se zabýval návrhem FV systému pro náš rodinný dům. Vzhledem ke sklonu střechy na západ a východ jsem musel dům pro návrh „pootočít“. Výsledek této práce je tedy pouze teoretický a pro skutečnou realizaci zcela nepoužitelný. Vzhledem k výkupním cenám a návratnosti systému 12 let, bychom o realizaci FV systému ani neuvažovali. Počáteční investice 464 940 Kč je relativně vysoká, vzhledem k tomu, že po uplynutí doby návratnosti systému bychom každý rok vydělávali méně než 38 000 Kč, neboť se účinnost FV panelů každým rokem snižuje.

Každý provozovatel FV elektrárny by měl mít uzavřené pojištění proti krádeži, vandalismu, krupobití a dalším nepříznivým vlivům počasí. Pojištění navrženého systému činí 7600 Kč/rok. Tímto se v případě metody přímého výkupu stává FV systém téměř nevýdělečný a v případě pojištění systému při čerpání zelených bonusů se návratnost prodlužuje na 15 let.

FV systém je tvořen panely od firmy Suntech STP250S-20/Wd s účinností 15,2 % a celkovým teoretickým výkonem 8000 W, měnič napětí byl vybrán od firmy SMA TRIPOWER 10000TL s účinností 98,1 %. Pro montáž FV panelů byla vybrána konstrukce od firmy Schletter GmbH.

V dnešní době se již realizace FVE příliš nevyplatí. V roce 2007 až 2010 to však byla zajímavá investice, neboť byly výkupní ceny a zelené bonusy několikanásobně větší. Použití FVE je tedy smysluplné jen v tzv. ostrovním režimu, kdy nemáme na odlehlých místech možnost zřízení elektrické přípojky.

Použitá literatura

- [1] Výpočet tepelné ztráty objektu dle ČSN 06 0210. [online]. [cit. 8.3.2014].
Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/107-vypocet-tepelne-zraty-objektu-dle-csn-06-0210>
- [2] Normalizované TDD. [online]. [cit. 15.4.2014].
Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/statistika/typove-diagramy-dodavek-elektriny/normalizovane-tdd>
- [3] Murtinger, Beranovský, Tomeš. *Fotovoltaika. Elektřina ze slunce*. 1. Vyd. Praha:ERA group spol. s r.o. 2007
- [4] Sluneční záření [online]. [cit. 21.4.2014].
Dostupné z: <http://www.regam.cz/img/fve/mapa-slunecni-zareni.jpg>
- [5] Sluneční konstanta [online]. Poslední změna 6.5.2013. [Cit. 21.4.2014].
Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Slune%C4%8Dn%C3%AD_konstanta
- [6] Teplo sluncem [online]. [cit. 21.4.2014].
Dostupné z: <http://www.kr-olomoucky.cz/clanky/dokumenty/1575/priloha-7-teplo-sluncem-1.doc>
- [7] Parametry zvoleného FV panelu [online]. [cit. 13.5.2014].
Dostupné z: http://www.gsenergy.eu/doc/suntech/datasheets/BlackpearlSTP245S_20Wd_EN-online.pdf
- [8] Měniče napětí [online]. [cit. 18.5.2014].
Dostupné z: <http://www.deramax.cz/menice-napeti-rady-pro-vyber-a-pouziti/t-115/>
- [9] Parametry zvoleného měniče [online]. [cit. 18.5.2014]
Dostupné z: http://www.obchodsolar.cz/fotky13919/fotov/_ps_339SMA-SUNNY-TRIPOWER-10000TL-OBCHODSOLAR-CZ.pdf
- [10] Měnič napětí SMA [online]. [cit.19.5.2014]
Dostupné z: http://www.obchodsolar.cz/fotky13919/fotos/_vyrd13_339SMA-Sunny-Tripower-8000-TL.png
- [11] FV panel Suntech [online]. [cit.19.5.2014]
Dostupné z: <http://www.merkasol.com/WebRoot/StoreLES/Shops/62387086/522A/0840/9510/8FC7/3A35/C0A8/29BA/AD9D/solar-panel-suntech-stp255s-20-wd.jpg>
- [12] Parametry solárního kabelu [online]. [cit.19.5.2014]
Dostupné z: http://www.obchodsolar.cz/fotky13919/fotov/_ps_458heisolar_xh_rt.pdf
- [13] Solární kabel [online]. [cit.19.5.2014]
Dostupné z: <http://www.obchodsolar.cz/obchodsolar/eshop/4-1-Solarni-kabely-konektory/0/5/458-Solarni-kabel-CZ-4mm/download#anch1>
- [14] CYKY kabel 4B x 4 (J) [online]. [cit.19.5.2014]
Dostupné z: [http://www.elektromaterialy.cz/?p=productsMore&iProduct=343&sName=Kabel-CYKY-5C-x-4-\(J\)-](http://www.elektromaterialy.cz/?p=productsMore&iProduct=343&sName=Kabel-CYKY-5C-x-4-(J)-)
- [15] CYKY kabel [online]. [cit.19.5.2014]
Dostupné z: http://www.e-hemadobruska.cz/fotky29845/fotos/_vyrn_5DSCN5522w.jpg
- [16] Svodiče přepětí [online]. [cit.20.5.2014]
Dostupné z: [http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/5f32d0f6832e096cc1257601003c0200/\\$File/Svodice%20prepeti%20pro%20fotovoltaiku.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/5f32d0f6832e096cc1257601003c0200/$File/Svodice%20prepeti%20pro%20fotovoltaiku.pdf)
- [17] Svodič přepětí ABB [online]. [cit.20.5.2014]
Dostupné z: <http://3.imimg.com/data3/PS/YK/MY-5827975/lightning-protection-device.jpg>

- [18] Svodič přepětí Noark [online]. [cit.20.5.2014]
Dostupné z: <http://www.emat.cz/modulove-pristroje/svodice-prepeti/noark-ex9ue12-12-5ka-3p-svodice-prepeti-103338>
- [19] Konstrukce pro FV systém [online]. [cit.21.5.2014]
Dostupné z: <http://www.obchodsolar.cz/obchodsolar/eshop/3-1-Konstrukce>
- [20] Elektroměr PRO370D [online]. [cit.21.5.2014]
Dostupné z: <http://www.elektromery.com/index.php?action=tovar&id=254>
- [21] Komponenty a funkce FV systémů [online]. [cit.21.5.2014]
Dostupné z: http://www.crr.vutbr.cz/system/files/prezentace_04_1104_3.pdf
- [22] Cenové rozhodnutí ERÚ [online]. [cit.21.5.2014]
Dostupné z: http://www.csve.cz/img/wysiwyg/file/ERV7_2013titul_konec_fi.pdf
- [23] ČECH, Petr. *Změna závazku v NOZ*. Praha: Svaz účetních, 2014, 64 s. Metodické aktuality Svazu účetních. ISBN 978-80-87367-47-6.