

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra technologií a měření

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Solární systémy pro rodinný dům

Bc. Petr Ulč

Plzeň

2014

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

Jméno a příjmení: **Bc. Petr ULČ**
Osobní číslo: **E13N0032P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Solární systémy pro rodinný dům**
Zadávající 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 :

1. Popište základní vlastnosti solárního záření a možnosti jeho energetického využití.
2. Zhodnoťte technické a ekonomické vlastnosti různých druhů solárních systémů aplikovatelných na rodinný dům.
3. Porovnejte různé alternativy využití solární energie pro modelový rodinný dům.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

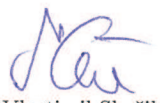
1. Cihelka: Solární tepelná technika

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

Datum zadání diplomové práce: 14. října 2013
Termín odevzdání diplomové práce: 12. května 2014


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




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Anotace

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na problematiku využití solární energie pro rodinný dům. Popisuje sluneční energii, principy její energetické přeměny s následným popisem jednotlivých aplikací solárních systémů. V práci se porovnává ohřev teplé užitkové vody pomocí solárních kolektorů a pomocí fotovoltaických modulů. Dále je vytvořena modelová situace pro fotovoltaickou elektrárnu v režimu na střeše rodinného domu využívající Net – Metering.

Klíčová slova

Sluneční energie, solární kolektor, fotovoltaický panel, solární systém, Net – Metering, TUV, rodinný dům.

Solar systems for family house

Abstract

The diploma thesis is focused on the use of solar energy for the family house. Describes solar energy, the energy conversion principles followed by a description of the various applications of solar systems. The thesis compares hot water using solar collectors and photovoltaic modules. It is created Scenario for photovoltaic power plants on the roof of a house using Net - Metering.

Key words

Solar energy, solar collector, solar panel, solar system, Net - Metering, domestic hot water, family house.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

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

V Plzni dne 12.5.2014

Petr Ulč

.....

Poděkování

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

Obsah

ÚVOD	9
1 ENERGIE ZE SLUNCE	10
1.1 ZDROJ SOLÁRNÍ ENERGIE - SLUNCE	10
1.2 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ JAKO ELEKTROMAGNETICKÉ VLNY	10
1.3 ENERGIE DOPADAJÍCÍ NA ZEMI	11
1.4 GLOBÁLNÍ SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ	12
1.4.1 Přímé záření.....	12
1.4.2 Difúzní záření	13
1.5 TEORETICKÉ MNOŽSTVÍ DOPADAJÍCÍ ENERGIE	14
1.6 SKUTEČNÁ DOPADAJÍCÍ ENERGIE	14
1.7 ORIENTACE A SKLON OSLUNĚNÉ PLOCHY	15
1.7.1 Znečistění atmosféry	17
1.8 ZDROJE ÚDAJŮ O SLUNEČNÍM ZÁŘENÍ	17
1.8.1 PVGIS	18
2 ENERGETICKÉ VYUŽITÍ SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ	19
2.1 FOTO- PŘEMĚNY	19
2.1.1 Přeměna na tepelnou energii.....	19
2.1.2 Přeměna na elektrickou energii.....	19
2.2 ZÁKLADNÍ TYPY FV ČLÁNKŮ	20
2.2.1 Vlastnosti fotovoltaických článků	21
2.2.2 FV panel.....	24
3 TERMICKÉ SOLÁRNÍ SYSTÉMY	26
3.1 ENERGETICKÉ PARAMETRY SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ	28
3.2 SOLÁRNÍ KOLEKTOR	28
3.2.1 Ploché kolektory	29
3.2.2 Ploché vakuové (nízkotlaké) kolektory	30
3.2.3 Trubicové vakuové kolektory	30
3.3 TEPLONOSNÁ LÁTKA	32
3.4 ZÁSOBNÍKY TEPLA.....	33
3.5 AUTOMATICKÁ REGULACE A OBĚHOVÉ ČERPADLO	33

3.6	EXPANZNÍ NÁDOBA	34
4	FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY	35
4.1	FOTOVOLTAIKA V ČR PO ROCE 2013	35
4.1.1	<i>Net – Metering</i>	36
4.2	DROBNÉ APLIKACE	38
4.3	OSTROVNÍ SYSTÉMY (GRID - OFF)	38
4.3.1	<i>Hybridní systémy (grid – free)</i>	39
4.4	SÍŤOVÉ SYSTÉMY (GRID - ON)	40
4.5	KOMPONENTY FVE	40
4.5.1	<i>DC spotřebiče</i>	41
4.5.2	<i>Akumulátorové baterie</i>	41
4.5.3	<i>Regulátor dobíjení a MPPT měnič</i>	42
4.5.4	<i>Měnič napětí</i>	42
4.5.5	<i>Hybridní střídač</i>	44
4.6	FVE PRO OHŘEV TUV	44
5	SOLÁRNÍ SYSTÉMY PRO MODELOVÝ RD.....	47
5.1	DEFINICE MODELOVÉHO RD.....	47
5.1.1	<i>Dopadající energie v dané lokalitě</i>	47
5.2	OHŘEV TUV	49
5.2.1	<i>Termický solární systém</i>	49
5.2.2	<i>FVE pro ohřev TUV</i>	51
5.3	FVE VYUŽÍVAJÍCÍ NET - METERING	54
5.3.1	<i>Dimenzování FVE</i>	55
6	HODNOCENÍ PŘEDCHOZÍCH ŘEŠENÍ.....	56
6.1	PŘÍPRAVA TUV	56
6.2	HODNOCENÍ FVE	59
7	ZÁVĚR	60
8	POUŽITÁ LITERATURA	61
	INTERNETOVÉ ZDROJE	61

ÚVOD

Diplomová práce se bude zabývat využitím solární energie jako příspěvek do energetického mixu modelového rodinného domu. Jelikož solární průmysl v naší zemi prochází poměrně turbulentním obdobím, je vhodné se touto problematikou nadále zabývat. Právě instalace na rodinných sídlech by se měly stát hnací silou tohoto odvětví. Měly by přinášet pocit nezávislosti a alespoň částečné soběstačnosti.

Je však žádoucí probrat danou problematiku podrobněji, od základů. Chceme-li aplikovat solární systém na rodinný dům, je třeba znát jednotlivé principy konkrétních solárních soustav, jaké komponenty musí ten či onen solární systém obsahovat a co od něho můžeme očekávat.

Díky velmi rychlému rozvoji fotovoltaiky v posledních letech výrazně zlevnily fotovoltaické moduly. Tím se opět posunuly hranice energetického využití sluneční energie. Nejklasičtější solární ohřev teplé užitkové vody pomocí solárních kolektorů začíná mít svého konkurenta. Začínají se objevovat aplikace fotovoltaického solárního ohřevu teplé vody. Právě tyto dvě zcela odlišné technologie, které vyprodukují stejný produkt, budou porovnány v této práci. Toto není ale jediná odbočka, kam se chystá budoucí fotovoltaická společnost. Po omezení a následném zrušení výrazné podpory na výkup energie z obnovitelných zdrojů energie se hledají jiné nové možnosti, jak tento průmysl v České republice opět rozvíjet. Osobně se mi velice zamlouvá princip Net - Meteringu. Dalším dílem této práce tedy bude vytvořit určitý model, jak by se mohl Net - Metering provozovat v naší krajině. Ostatně jsem velmi zvědavý, zda ony nové způsoby mají šanci se uplatnit na našem trhu.

1 ENERGIE ZE SLUNCE

Slunce je pro naši civilizaci zcela nepostradatelné vesmírné těleso, jelikož jeho záření je zdroj veškerého života na naší planetě. Pojem sluneční energie je téměř výlučně chápán jako zdroj obnovitelný neboli alternativní. Téměř všechny formy dnes využívané energie na naší planetě pocházejí ze Slunce. Jsou to především neobnovitelná fosilní paliva (uhlí, ropa, zemní plyn), místo kterých hledáme alternativní zdroje energie.

Pro termíny charakterizující Slunce a jeho využívání je vhodné se držet jednoduché konvence. Pojem *sluneční* je spojeno se Sluncem jako s kosmickým tělesem. Kdy se používá ve spojení jako *Sluneční* soustava, *sluneční* záření, dopadající *sluneční* záření, *sluneční* konstanta nebo *sluneční* aktivita. Oproti tomu přívlastek *solární* je spojen s využitím slunečního záření a je používán například ve slovních spojeních *solární* kolektor, *solární* systém, využitá *solární* energie [1].

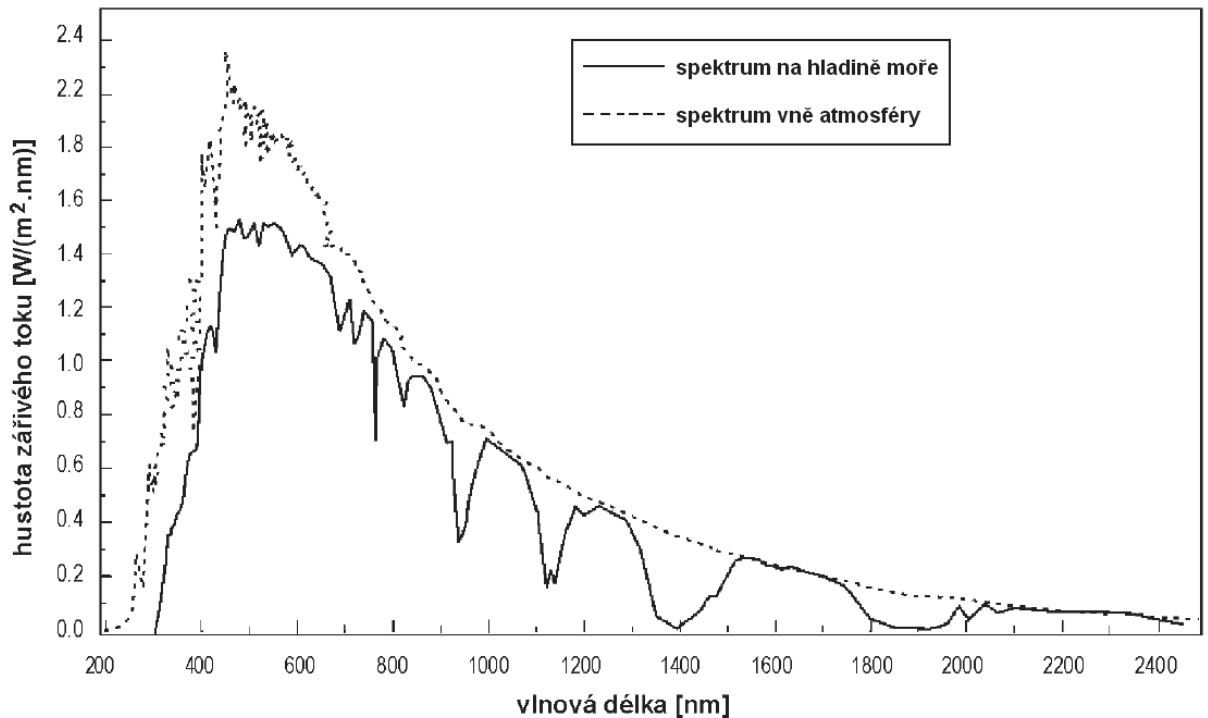
1.1 Zdroj solární energie - Slunce

Slunce je pro nás bezesporu nejdůležitějším vesmírným tělesem. Naše planeta Země se nachází v Sluneční soustavě, jejímž středem je právě hvězda jménem Slunce. Jeho důležitost spočívá ve své blízkosti k Zemi a hlavně energii, kterou vyzařuje.

Slunce má tvar koule s průměrem 109krát větším než Země a o hmotnosti 330 000krát větší než Země. Díky geologickým údajům a množství hélia, které dosud vzniklo, se odhaduje jeho stáří na 4,5 miliardy let a počítá se s tím, že bude svítit dalších sedm miliard roků. Obsahuje hlavně 73,46 % atomů vodíku a 24,85 % atomů hélia. Zbytek tvoří ostatní nám známé prvky v nepatrném množství. Veškeré složení Slunce je formě plasmy. Energie Slunce vzniká ve střední vrstvě, kde probíhají termonukleární reakce při přeměně vodíku v hélium. Tyto reakce probíhají za teploty $13 \cdot 10^6$ K a o tlaku $2 \cdot 10^{10}$ MPa, kdy jsou všechny atomy úplně ionizovány. Tyto reakce nazýváme jadernou fúzí, při které vzniká sluneční záření [2].

1.2 Sluneční záření jako elektromagnetické vlny

Sluneční záření je příčné elektromagnetické vlnění, jehož spektrum je velmi široké. Elektromagnetické vlny se projevují jako tok fotonů. Rozsah slunečního záření je charakterizován téměř všemi frekvencemi dosud známého elektromagnetického vlnění. Jedná se o nejkratší rentgenové a ultrafialové vlny až do metrových vlnových délek. Nejvíce energie je však soustředováno do rozsahu 0,2 až 3 μm (obr. č. 1.1).



Obr. č. 1.1 – Závislost hustoty zářivého toku na vlnové délce - převzato z [1]

1.3 Energie dopadající na Zemi

Energie vyzařovaná Sluncem do kosmického prostoru je přímo gigantická. Jedná se o $3,85 \cdot 10^{23}$ kW. Přičemž k naší planetě Zemi dorazí přibližně jedna dvoumiliardtina, tj. asi $1,8 \cdot 10^{14}$ kW. Slunce má na svém povrchu měrný tok energie hodnotu $6 \cdot 10^4$ kW \cdot m⁻². Je-li energie Slunce charakterizována takto jako výkonová hustota zářivého toku v jednotkách kW \cdot m⁻², tak tento rozměr lze přiřadit buď ke *slunečnímu ozáření G* podle [1], nebo jako jednotku *intenzity slunečního záření I* podle [2]. V práci bude dále používána veličina G [W m⁻²].

Země se skládá z různých vrstev. Tyto vrstvy, které se se slunečním zářením navzájem ovlivňují, jsou atmosféra a biosféra. Na hranici atmosféry dopadá na plochu kolmou k slunečním paprskům záření o intenzitě 1367 W \cdot m⁻². Tato hodnota je označována jako solární konstanta G_0 . Ve vrstvách atmosféry zvaných ionosféra a ozonosféra se zachycuje rentgenové a ultrafialové záření. Tato část záření je totiž životu nebezpečná. Ale ani nemá pro nás význam. Připadá na ni velmi malý podíl energie dopadající na Zemi. V nejnižší vrstvě atmosféry (v troposféře), které obsahuje kolem 75% hmotnosti vzduchu na Zemi, se pohltí 19% záření a 34% záření se od ní pouze odrazí zpět do vesmíru.

Na Zemi dochází k několika přirozeným přeměnám sluneční energie. Teplo pohlcené

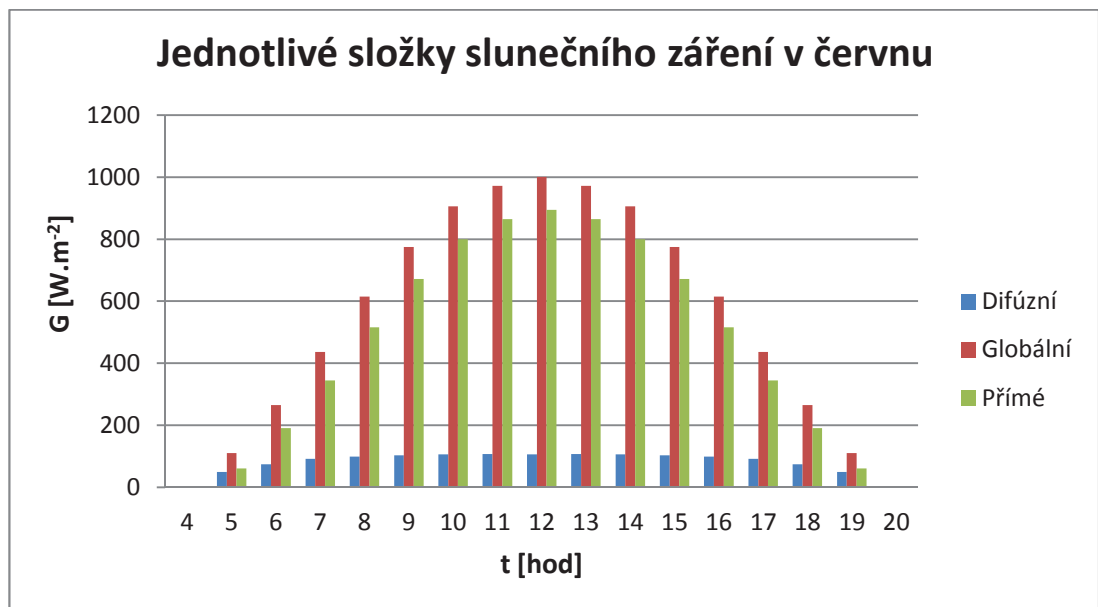
zemským povrchem se zpět vyzařuje jako infračervené záření. To ale ozonoféra ne zcela propouští. Přispívá tedy ke skleníkovému efektu. Energie dopadající na převelké plochy zemského vodstva se vypaří jako vodní pára a stoupá do chladnějších vrstev, kde kondenzuje. Původ ve Slunci má i vítr, kdy teplý vzduch vstoupá vzhůru a mění se s chladnějším. Tato atmosférická cirkulace zajišťuje přenášení tepla z teplých oblastí do chladnějších a také vlhkosti z oceánů na pevninu. Nesmím opomenout ani přeměny probíhající v živých organismech (v biosféře). Zde se spotřebovává pouze 1%. I toto minimální množství je ale důležité pro zachování života na Zemi [2].

1.4 Globální sluneční záření

Sluneční záření, které dopadá na danou plochu, má dvě části. Jedná se o záření přímé a difúzní. Výsledné dopadající záření na danou plochu je součet složky přímé a difúzní. A označuje se jako globální.

$$G = G_p + G_D \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]. \quad (1.1)$$

V našich zeměpisných šířkách však není podíl difúzního záření zanedbatelný. I když dopadají tyto dvě složky na stejnou plochu, svým charakterem se velmi odlišují (graf č. 1.1). Pro praktické využití má svou důležitost hlavně přímé sluneční záření.



Graf č. 1.1 – Jednotlivé složky slunečního záření v červnu

1.4.1 Přímé záření

Přímé sluneční záření má několikanásobně větší intenzitu záření, jelikož jde o sluneční svit za zcela jasného dne. Jak už pojmenování této složky napovídá, musí sluneční paprsky

dopadat přímo na určenou plochu. Největší zisky nám nabízí, dopadají-li paprsky kolmo na danou plochu. Je závislé na několika faktorech. Tím nejdůležitějším, a který zároveň nejvíce omezuje jakýkoli solární systém, je proměnlivost a nestálost slunečního záření. Tyto problémy budou detailněji popsány v následujících kapitolách. Intenzita přímého slunečního záření dopadající kolmo na osluněnou plochu je

$$G_{Pn} = G_0 \cdot e^{-\frac{Z}{\varepsilon}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}], \quad (1.2)$$

kde G_0 je solární konstanta ($G_0 = 1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$),

Z je součinitel znečištění atmosféry,

ε je součinitel, který závisí na výšce Slunce nad obzorem a na nadmořské výšce daného místa.

$$\varepsilon = \frac{9,38076 \left[\sin h + (0,003 + \sin^2 h)^{0,5} \right]}{2,0015(1 - H \cdot 10^{-4})} + 0,91018, \quad (1.3)$$

kde h je výška Slunce nad obzorem,

H je nadmořská výška daného místa [m].

Intenzita přímého záření dopadající na danou plochu pod úhlem γ je definována

$$G_p = G_{Pn} \cos \gamma \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}], \quad (1.4)$$

kde γ je úhel dopadu paprsků na osluněnou plochu [2].

1.4.2 Difúzní záření

Difúzní záření vzniká rozptylem o molekuly plynů ve vzduchu, částičky prachu a mraky v atmosféře. Jde o záření izotopické. Znamená to, že má ve všech směrech stejnou intenzitu. Prakticky se jedná o záření při zatažené obloze, kdy intenzita přímého dopadajícího záření je téměř nulová. Mezi difúzní záření se řadí také odražené paprsky od ostatních předmětů.

$$G_D = 0,5(1 + \cos \alpha) G_{Dh} + 0,5r(1 - \cos \alpha)(G_{Ph} + G_{Dh}) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}], \quad (1.5)$$

kde α je úhel sklonu osluněné plochy od vodorovné roviny,

r – reflexní schopnost okolních ploch pro sluneční paprsky (nejčastěji $r = 0,20$),

G_{Ph} – intenzita přímého záření na vodorovnou plochu,

G_{Dh} – intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu.

Pro intenzity G_{Ph} a G_{Dh} platí [2]:

$$G_{Ph} = G_{Pn} \sin h \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}], \quad (1.6)$$

$$G_{Dh} = 0,33(G_0 - G_{Pn}) \sin h \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]. \quad (1.7)$$

1.5 Teoretické množství dopadající energie

Obrázek č. 1.2 popisuje zcela jasný den, kdy Slunce svítí nepřetržitě od svého východu až do západu za obzor. Během tohoto teoretického dne dopadne na osluněnou plochu energie

$$H_{S \text{ den teor}} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} G d\tau \quad [\text{Wh} \cdot \text{m}^{-2}], \quad (1.8)$$

kde G denní průběh slunečního ozáření,

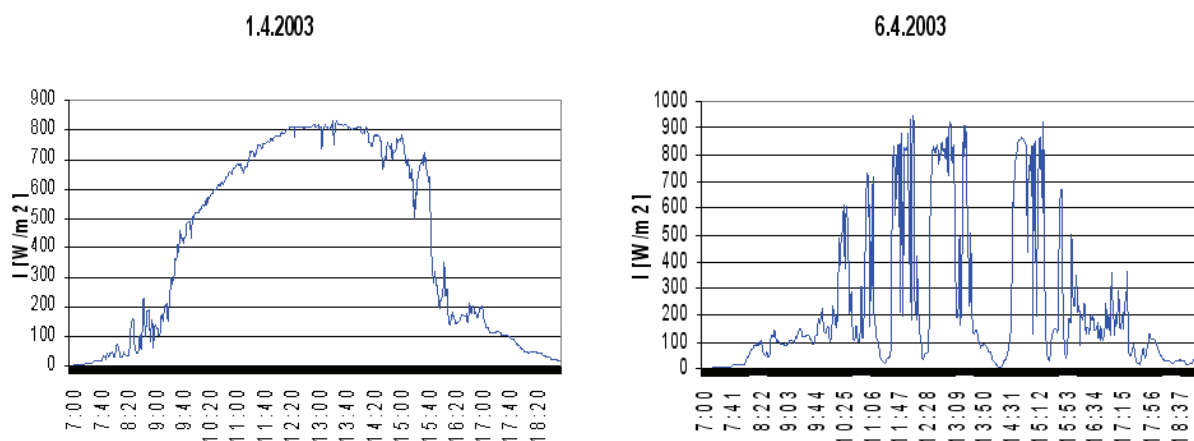
τ_1 a τ_2 - čas východu a západu Slunce.

Z rozdílu $\tau_2 - \tau_1$ je dána teoretická doba slunečního svitu τ_{teor} , díky které se dá vypočítat střední intenzita slunečního záření

$$G_{\text{stř}} = \frac{1}{\tau_{\text{teor}}} \int_{\tau_1}^{\tau_2} G d\tau = \frac{H_{S \text{ den teor}}}{\tau_{\text{teor}}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]. \quad (1.9)$$

1.6 Skutečná dopadající energie

V klimatických podmínkách ČR se množství energie, která dopadá na osluněnou plochu za reálný den, velmi liší od teoretických výpočtů. Na obrázku č. 2.4 jsou znázorněny průběhy měření intenzity záření během dvou rozdílných dnů, kde jsou vidět propady křivky způsobené stínem oblaků.



Obr. č. 1.2 - Průběhy intenzity záření z měření reálných dnů – převzato z [8]

Množství energie by byla určena plochou pod touto křivkou, kterou je asi nemožné popsat pro následnou integraci. Střídání jasné a zatažené oblohy je však zcela náhodné. Známa je pouze skutečná doba slunečního svitu τ_{skut} charakterizující průměrný den v měsíci. Z doby τ_{skut} se určí poměrná doba slunečního svitu τ .

$$\tau = \frac{\tau_{skut}}{\tau_{teor}} \quad [-]. \quad (1.10)$$

Skutečná energie, která dopadne za charakteristický den měsíce na danou plochu, se vypočítá podle vztahu

$$H_{S\ den} = \tau \cdot H_{S\ den\ teor} + (1 - \tau) \cdot H_{D\ den} \quad [\text{Wh} \cdot \text{m}^{-2}]. \quad (1.11)$$

Analogicky se spočítá množství dopadající energie za celý měsíc, který trvá n dnů

$$H_{S\ měs} = n \cdot H_{S\ den} \quad [\text{Wh} \cdot \text{m}^{-2}]. \quad (1.12)$$

Známe-li tedy $H_{S\ den}$ (resp. $H_{S\ měs}$) a účinnost kolektoru η_k , můžeme vypočítat přímo energii zachycenou kolektorem za určitou dobu

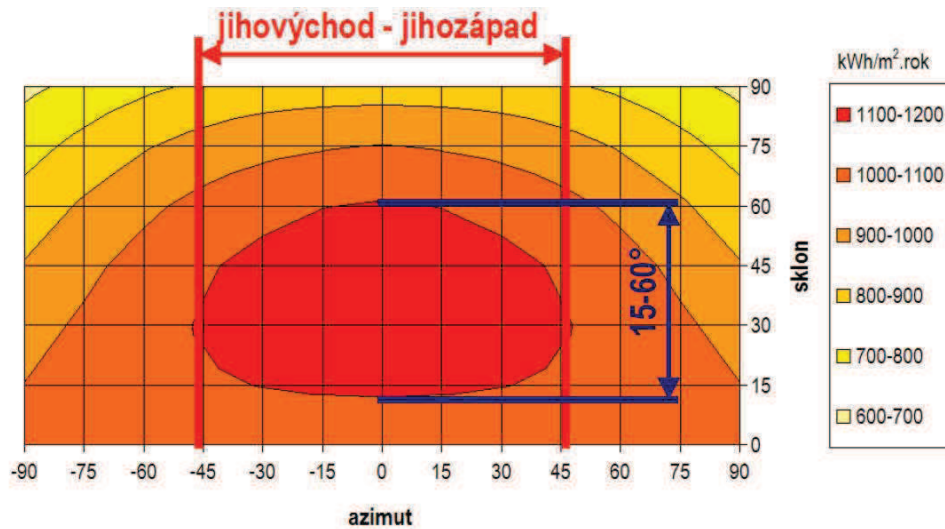
$$H_{k\ den} = \eta_A \cdot H_{S\ den} \quad [\text{Wh} \cdot \text{m}^{-2}]. \quad (1.13)$$

1.7 Orientace a sklon osluněné plochy

Množství dopadajícího záření je dáno především geografickou polohou, přesněji zeměpisnou šířkou, kde chceme využívat sluneční záření. Také čas velmi ovlivňuje množství dopadající energie na danou lokalitu. Vlivem oběhu kolem Slunce se na Zemi mění roční období a hlavně poloha Slunce na obzoru. V zimě se Slunce pohybuje nízko nad obzorem. Ale především díky krátkým dnům a dlouhým nocím je nabídka sluneční energie časově omezená. Samozřejmě v létě je to přesně naopak. Aby jakákoli sluneční soustava měla co možná největší zisky, je důležité sběrače slunečního záření optimálně nasměrovat.

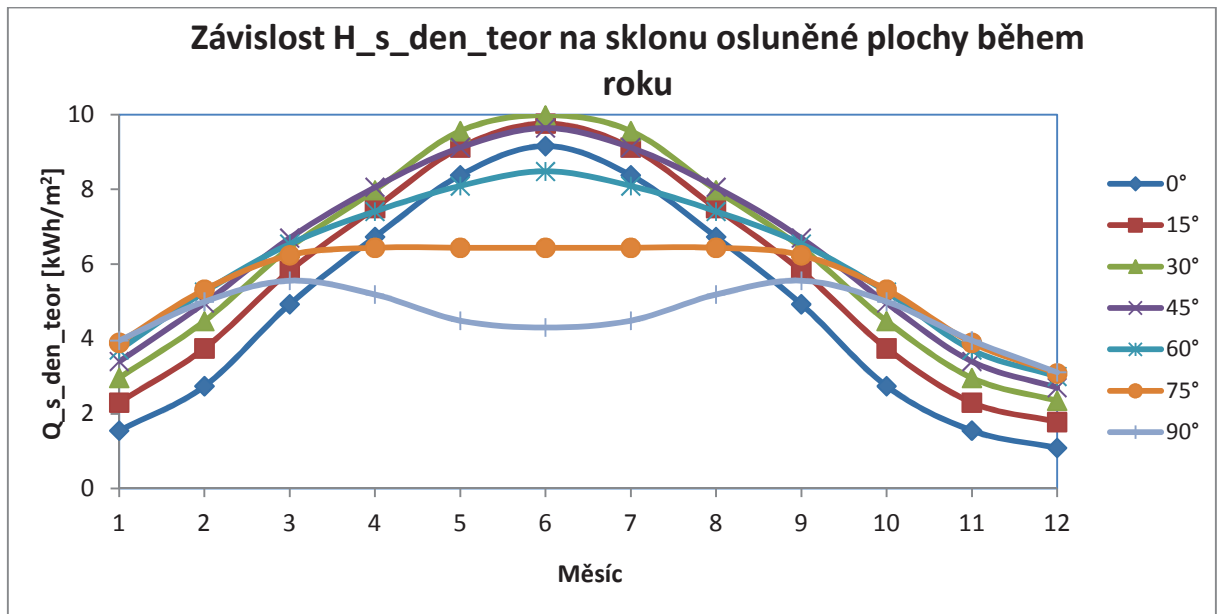
Prvním parametrem je azimutový úhel osluněné plochy a_s , kdy nejoptimálnější je orientace na jih (konvence $a_s = 0^\circ$). Přispívají-li se solární kolektor, příp. FV panely energetické situaci rodinného domu, kopírují kolektory, resp. panely většinou střechu budovy. V této situaci je poloha osluněné plochy jasně daná. V případě ploché střechy se nabízí volná ruka pro umístění kolektorů/panelů. Jejich řady musí být však od sebe dostatečně vzdálené, aby si vzájemně nestínili. Zde se může stát, že ovlivní celkový vzhled budovy. Orientace přímo na jih není přísnou podmínkou. Pohybuje-li se odchylka od jihu v rozmezí od $a_s = +45^\circ$ (jihozápad) do $a_s = -45^\circ$ (jihovýchod), nedochází k razantnímu poklesu

dopadající energie.



Obr. č. 1.3 – Závislost orientace a sklonu osluněné plochy na množství sluneční energie – převzato z [9]

Dalším aspektem je sklon osluněné plochy vůči horizontální rovině daný úhlem α . Jeho optimální velikost získané energie se mění v závislosti na čase, resp. měsíci v roce. Tato závislost je znázorněna v grafu č. 1.2. Zde je třeba si upřesnit, pro jaké účely a v jakém časovém období bude využíván.



Graf č. 1.2 – Průběh dopadající energie během roku pro různé sklony osluněné plochy

V drtivé většině se kolektory montují na střechu, s kterou nemůžeme otáčet a ani ji naklánět. Díky úchytné konstrukci je teoreticky možné měnit orientaci a sklon osluněné plochy. U šikmých střech však toto nasměrování ovlivňuje celkový vzhled budovy.

1.7.1 Znečištění atmosféry

Dalším omezujícím faktorem je místní klima. Jak jsem již uvedl, velká část záření je rozptýlena v atmosféře. Záleží tedy na počasí, kolik energie může využít náš solární systém. Zde má zásadní vliv například míra oblačnosti a lokální mlhy. Nesmím ani opomenout znečištění atmosféry, které je citelné ve velkých městech a v průmyslových oblastech. Je definován součinitel znečištění atmosféry

$$Z = \frac{\ln G_0 - \ln G_n}{\ln G_0 - \ln G_c}, \quad (1.14)$$

kde G_0 je sluneční konstanta,

G_n – intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům za daného znečištění,

G_c – intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům za dokonale čistého ovzduší.

Tab. č. 1.1– Průměrné hodnoty součinitele Z [2], [3]

Roční průměr součinitele Z pro různé oblasti			
Horské oblasti	Venkov	Města	Průmyslové oblasti
1,9	2,75	3,75	5,0

1.8 Zdroje údajů o slunečním záření

Informace o slunečním záření v dané lokalitě jsou zásadní pro správné navržení solárního systému. Optimální by bylo, kdyby v konkrétním místě budoucí realizace bylo prováděno delší měření sledovaných veličin. To je však z mnoha důvodů prakticky nereálné. Důkladnější monitorování provádí např. Český hydrometeorologický ústav na svých 16 stanicích. Data ČHMÚ jsou k dispozici ve formátu referenčního roku ale pouze na vyžádání a za poplatek.

Pro navrhování solárního systému jsou v omezené míře postačující tabulkové hodnoty obsažené v [2], které mají mnoho nevýhod. Jednak jsou cca 20 let stará, ale hlavně obsahují informace pouze pro malé množství lokalit s omezeným výčtem variant polohy osluněné plochy.

1.8.1 PVGIS

Další možností pro získání vstupních dat pro dimenzování solárních systémů je webová aplikace PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), která je produktem výzkumných center Evropské komise. Tento model má 2 obrovské výhody. Je dostupný zdarma online na [10] a jeho výstupem mohou být informace o slunečním záření v jakémkoli místě v Evropě. Dále lze osluněnou plochu konkretizovat azimutem v rozmezí -180° až $+180^{\circ}$ a jejím sklonem 0 až 90° . Dávky slunečního ozáření jsou stanoveny výpočtem z úhrnných klimatických údajů naměřených v 566 pozemských meteorologických stanic v Evropě. Výstupní data této webové aplikace jsou mj. průměrné denní (s krokem 15 minut) hodnoty slunečního ozáření spolu s venkovními teplotami pro jednotlivé měsíce, průměrné množství sluneční energie dopadající na zadanou plochu, anebo přímo odhad vyrobené elektrické energie různým FV článkem a za definovaných ztrát.

2 ENERGETICKÉ VYUŽITÍ SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ

V této kapitole budou popsány jednotlivé přeměny slunečního záření a jeho následné energetické využití, které je použitelné v přímé aplikaci pro běžný rodinný dům. Zprvu se budu věnovat té nejjednodušší přeměně, a to přeměně energie slunečního záření na energii tepelnou. Energie ze Slunce lze také proměnit na elektrickou energii mj. pomocí fotovoltaického jevu.

Na základě níže popsaných foto- přeměn jsou založeny různé energetické aplikace. Pro energetické využití slunečního záření je používán pojem solární systém. Tento pojem je velmi obecný. Říká nám jen to, že využíváme energii slunečního záření v náš prospěch. Pro běžný rodinný dům se v naší krajině používají dvě hlavní aplikace, a to solární termické systémy a fotovoltaika (FV).

Ještě na začátku bych chtěl zdůraznit důležité termíny, které jsou ještě dnes nesprávně používány. Mám na mysli pojmenování sběračů slunečního záření jednotlivých solárních systémů. U termických systémů toto zařízení nazýváme *solární kolektor*. Naopak u fotovoltaiky je ono základní zařízení označováno jako *fotovoltaický panel (modul)*.

2.1 Foto- přeměny

2.1.1 Přeměna na tepelnou energii

Tato transformace energie je nazývána jako fototermální přeměna, která spočívá v absorpci slunečního záření na povrchu pevných látek a tekutin. Absorbér je tedy základní prvek všech solárních termických systémů. Jinými slovy se jedná o sběrač slunečního záření. Dopadnou- li fotony slunečního záření na absorbér, jeho molekuly přijmou energii fotonů, rozpohybují se. Čímž vzniká teplo, které se využívá dále.

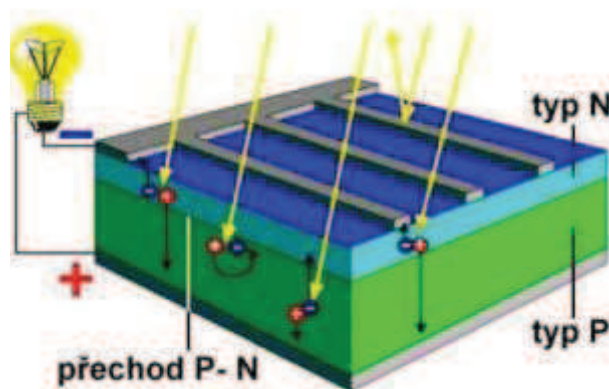
2.1.2 Přeměna na elektrickou energii

Způsobů, jak lze sluneční záření přeměnit na energii elektrickou, je více. Pro použití pro rodinný dům se ale prakticky využívá jen fotovoltaické systémy. Tento pojem je složenina řeckého slova *foto* (světlo) a *Volta*, což je příjmení italského fyzika Alessandra, který patří mezi první významné vědce v oboru elektřiny [4].

K fotovoltaické přeměně slunečního záření je potřeba polovodičový fotovoltaický článek. Podstatu fotovoltaického jevu lze popsat do hloubky pomocí vyšší fyziky. Domnívám se však, že pro účel této diplomové práce by to bylo zbytečné a neefektivní. Pokusím se tedy

popsat princip FV jevu stručně.

Nejpoužívanějším materiálem pro FV je křemík. Je to pevná krystalická látka se 4 valenčními elektrony. Pro zlepšení vlastností (zvýšení vodivosti) polovodiče se vlastní polovodič obohacuje o určité příměsi. V našem případě se křemík dopuje borem s 3 valenčními elektrony. Tím vznikne polovodič typu p . Naopak přidáním fosforu, který má valenčních elektronů 5, vznikne polovodič typu n . Těsné spojení polovodičů typů p a n zapříčiní vznik tenoučké, avšak velmi důležité vrstvě, jež se nazývá p - n přechod [7]. Fotovoltaický článek je vlastně velkoplošná dioda, jejíž PN přechod je orientován kolmo na přední (resp. zadní) stranu FV článku. Dopadá-li na článek sluneční záření, fotony generují páry elektron – díra. Ty jsou od sebe odděleny elektrickým polem. Elektrony jsou poslány do vrstvy typu n , z kterého se tím vytvoří záporný pól FV článku. Analogicky jsou díry vytlačeny elektrickým polem do vrstvy polovodiče typu p . Čímž je vytvořen i kladný pól článku. Elektrické pole zapříčiní vznik elektrického napětí mezi opačnými póly. Připojíme-li ke kontaktům spotřebič, uzavřeme obvod a obvodem protéká elektrický proud [6].



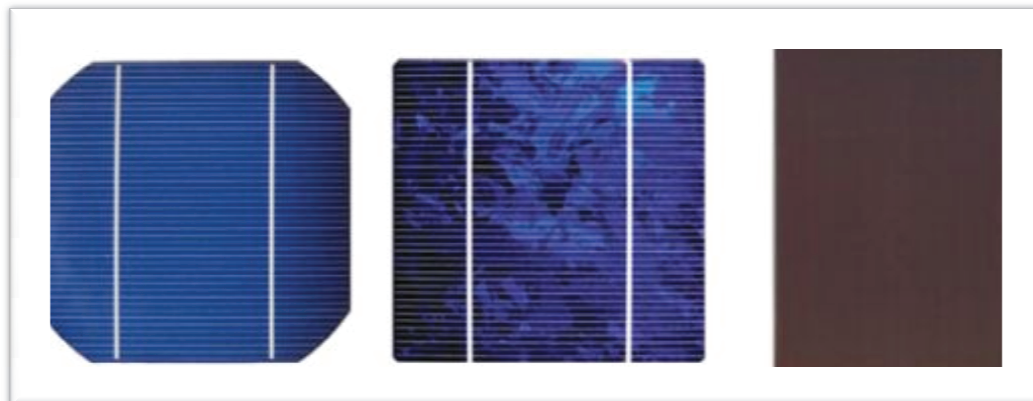
Obr. č. 2.1 – Princip fotovoltaického článku – převzato z [11]

2.2 Základní typy FV článků

První zmínka o křemíkovém FV článku, který se podobá tomu dnešnímu, se datuje do 50. let 20. století. Přesněji roku 1954 se objevil křemík jako základní surovina při vývoji fotočlánků v Bell Laboratories v USA [4]. Od této doby byl vývoj solárních článků hnán rozvojem kosmonautiky, jelikož právě solární článek se stal zdrojem energie pro umělé družice.

Technologií FV článků je několik a lze je rozdělit mezi jednotlivé generace. I vzhledem k nabídce modulů na našem trhu jsem se rozhodl popsat pouze zástupce první

generace, kterou zastupují mono- resp. polykrystalické křemíkové články a články z amorfního křemíku. Následující obrázek poukazuje na odlišný vzhled jednotlivých článků.



Obr. č. – Ukázka jednotlivých FV článků - zleva monokrystalický, polykrystalický, amorfní – převzato z [12]

- **Monokrystalické články**

Tyto články se vyznačují jednotnou strukturou v tmavě modré až černé barvě. Články mají nejčastěji tvar čtverce nebo čtvercový se zaoblenými rohy. U čtvercových článků se používají délky hrany čtverce 10, 12,5 a 15 cm. Vyznačují se nejvyšší provozní účinností, která se pohybuje okolo 15 - 17%. Případným i částečným zastíněním se účinnost snižuje.

- **Polykrystalické**

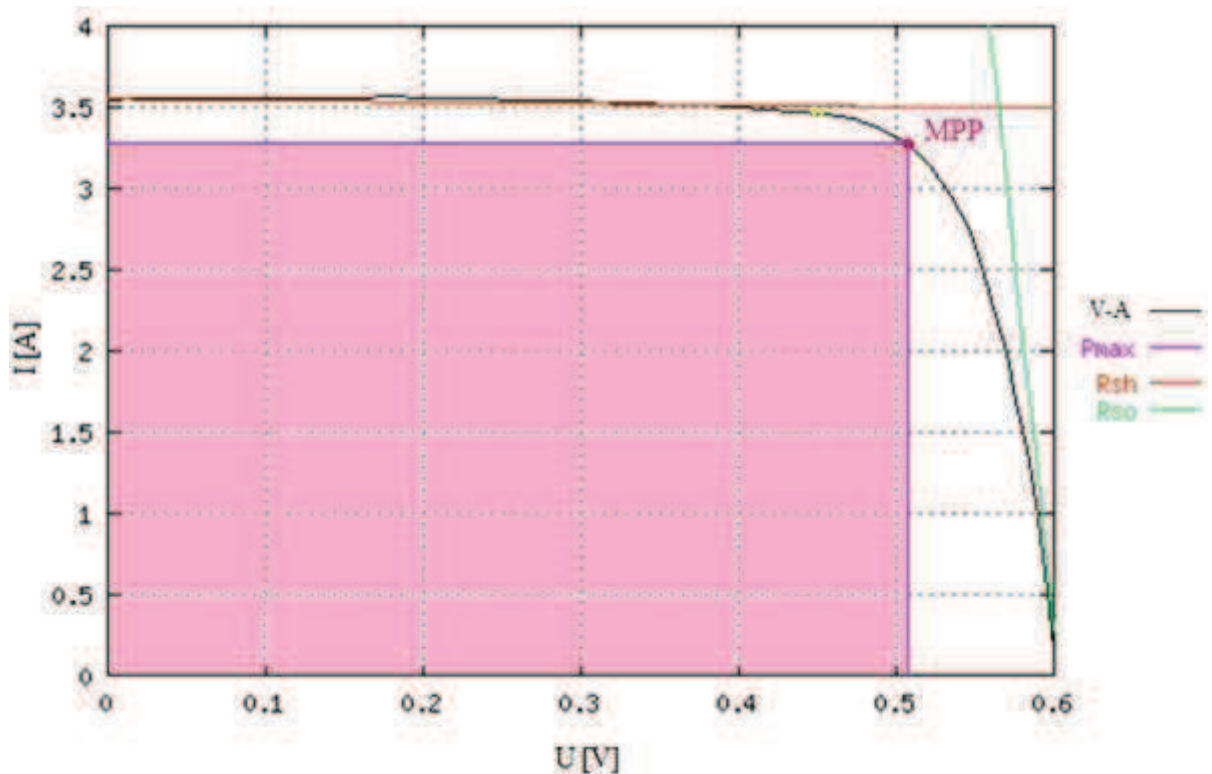
Neboli mnohokrystalické články lze snadno identifikovat. Na první pohled je vidět modře se třpytící krystalická struktura čtvercového tvaru s hranou různých velikostí, které mohou být 10, 12,5, 15, 15,6 nebo 21 cm. Polykrystalické články jsou také náchylné na zastínění. Oproti monokrystalům se vyrábí jednodušeji. Tím pádem jsou také levnější. Jejich účinnost je však trochu nižší (13 – 16%).

- **Amorfní články**

Jejich barva je hnědo-černá a jsou vyrobeny z amorfního křemíku. Sice mají poměrně nízkou účinnost kolem 9%, ale jsou minimálně závislé na orientaci a sklonu osluněné plochy, jelikož dokážou ve velké míře absorbovat difúzní sluneční záření. Ve srovnání s předešlými technologiemi jsou z amorfního křemíku nejlevnější [4].

2.2.1 Vlastnosti fotovoltaiických článků

Chceme-li se dozvědět elektrické vlastnosti FV článku, mnoho nám napoví volt-ampérová charakteristika článku, jejíž typický tvar je na obr. č. 2.2.



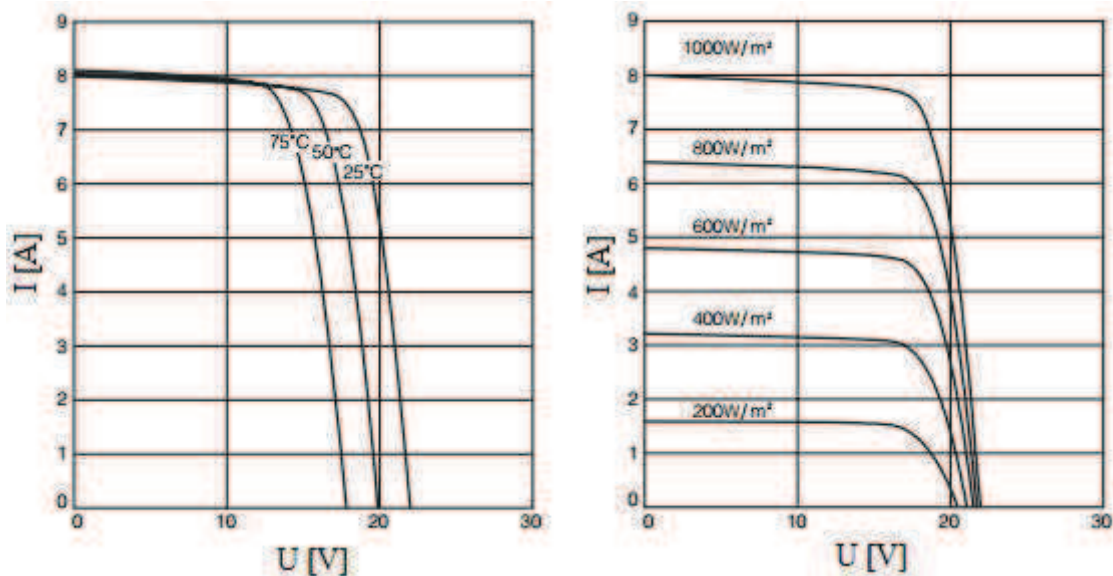
Obr. č. 2.2 – Typická V-A charakteristika FV článku – převzato z [8]

Na první pohled můžeme vždy odečíst dvě základní hodnoty. Jsou to napětí naprázdno U_{oc} a zkratový proud I_{sc} . V-A charakteristika lze sestavit snadno pomocí naměřených hodnot. Někteří výrobci FV modulů ji také uvádějí jako součást katalogového listu. Hodnoty, které výrobci uvádějí, však vycházejí z měření za tzv. standardních testovacích podmínek *STC* (*Standard Test Condition*). S kterými lze v naší republice jen těžko pracovat. Mluvíme-li o *STC*, musíme uvažovat, že článek je osvětlen slunečním zářením o intenzitě $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, při spektru záření AM 1,5¹ a teplota článku je 25°C. *STC* nejsou ale jediné vymezení podmínek pro stanovení charakteristických veličin. Někteří výrobci uvádějí elektrické parametry také při podmínkách podstatně bližších těm provozním. Můžeme se tedy setkat se zkratkou *NOCT* (*Nominal operating Cell Temperature*), neboli jmenovitá provozní teplota článku. *NOCT* jsou tedy určeny intenzitou záření $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, při AM 1,5, rychlostí větru $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, teplotou článku 45°C a teplotou okolí 20°C [13].

V-A charakteristika by měla mít vždy podobný tvaru na obr. č. 2.2. Její přesný průběh však závisí na mnoha faktorech. Ostrost zlomu je závislá na sériovém odporu R_{so} [Ω] a

¹ AM (Air Mass) označuje hmotu atmosféry, kterou musí projít sluneční záření. Číslo 1,5 uvádí úhel dopadu sl. záření osluněnou plochu 37°[2].

odporu paralelním R_{sh} [Ω]. Obecně lze říci, že čím více se odpory blíží ke kolmicím, tím je článek kvalitnější. Charakteristika článku je dále závislá na intenzitě slunečního záření a na teplotě článku. Příklady jednotlivých závislostí jsou pro ukázkou znázorněny na obr. č. 2.3_a, 2.3_b.



Obr. č. 2.3_a, 2.3_b – V-A char. závislé na různé teplotě článku, resp. na intenzitě záření – převzato z [14]

Každý fotovoltaický článek (resp. modul) charakterizují dané veličiny při STC, které jsou obsaženy v katalogovém listu FV modulu. Ale jelikož jsou tyto parametry závislé na klimatických podmínkách (teplota článku, velikost slunečního ozáření). Lze tyto závislosti také matematicky popsat.

- **Jmenovitý výkon – P_{MPP} [W_p]**

Jedná se o výkon při STC. Jde tedy o maximální (špičkový = z angl. peak) výkon, který může článek dodávat. Z čehož se vyvinula také upravená jednotka pro výkon FV článku, W_p (*Watt peak*). Jelikož i tento výkon není nic jiného než součin napětí a proudu, odpovídá W_p ploše největšího obdélníku, který lze vepsat do V-A charakteristiky. Průnikem onoho výkonového obdélníku a charakteristické křivky vznikne bod MPP (*Maximum Power Point*) viz. obr. č. 2.2.

- **Napětí a proud při jmenovitém výkonu - U_{MPP} , resp. I_{MPP}**

Jsou to hodnoty napětí a proudu při maximálním výkonu.

$$U_{MPP} = U_{MPP0} \cdot \frac{\ln G}{\ln G_{STC}} \cdot [1 + \alpha_U (t - t_{STC})] \quad [\text{V}], \quad (2.1)$$

$$I_{MPP} = I_{MPP0} \cdot \frac{\ln G}{\ln G_{STC}} \cdot [1 + \alpha_I (t - t_{STC})] \quad [\text{A}], \quad (2.2)$$

kde U_{MPP0} , I_{MPP0} , G_{STC} , t_{STC} jsou hodnoty při STC,

G [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] je sluneční ozáření,

α_U [$\%/^{\circ}\text{C}$] je teplotní koeficient napětí naprázdno,

α_I [$\%/^{\circ}\text{C}$] je teplotní koeficient proudu nakrátko,

t [$^{\circ}\text{C}$] je teplota FV článku.

- **Napětí naprázdno - U_{oc}**

Je dán především použitým polovodičem.

$$U_{oc} = U_{oc0} \cdot \frac{\ln G}{\ln G_{STC}} \cdot [1 + \alpha_U (t - t_{STC})] \quad [\text{V}], \quad (2.3)$$

kde U_{oc0} je hodnota při STC.

- **Proud nakrátko - I_{sc}**

Neboli zkratový proud je maximální proud, který může článkem procházet. Závisí například na intenzitě slunečního záření a ploše článku.

$$I_{sc} = I_{sc0} \cdot \frac{\ln G}{\ln G_{STC}} \cdot [1 + \alpha_I (t - t_{STC})] \quad [\text{A}], \quad (2.4)$$

kde I_{sc0} je hodnota při STC.

- **Fill Factor – FF**

FF lze přeložit jako činitel naplnění a lze ho chápat jako elektrickou účinnost článku. FF je určen vztahem

$$FF = \eta_{el} = \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{U_{oc} \cdot I_{sc}} \quad [-]. \quad (2.5)$$

- **Účinnost FV článku – η**

$$\eta = \frac{P_{MPP}}{G \cdot A} \quad [-], \quad (2.6)$$

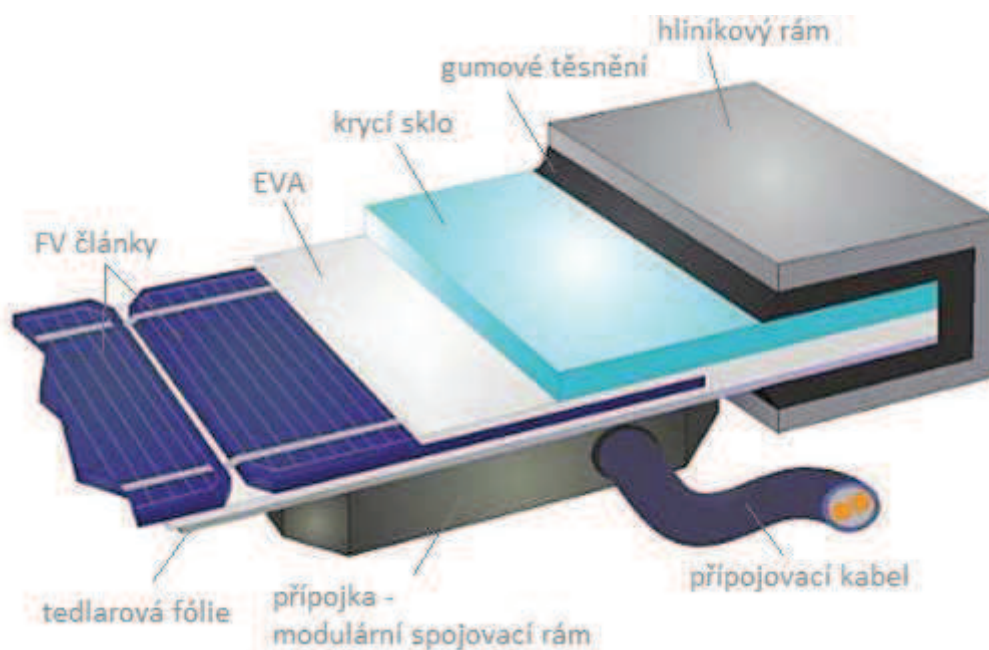
kde A [m^2] je plocha FV článku (resp. modulu) [4].

2.2.2 FV panel

Samostatný solární článek nemůže mít prakticky žádné velké využití. Na typickém Si článku lze naměřit jen malé hodnoty napětí (cca 0,5 V) a výkonu (cca 4 W). Dále je důležité křehké struktury článků chránit před vnějšími vlivy.

Proto se jednotlivé články propojí do jedné, resp. dvou větví a následně zapouzdří do

FV panelu. Spojením předních kontaktů jednoho článku (záporný pól) se zadními (kladný pól) toho následujícího vznikne sériové zapojení článků do větve, díky kterému získáme na výstupu modulu požadované napětí 12 V. Abychom mohli mluvit o modulu jako takovém, je nutné propojené články zapouzdřit. Na obr. č. 2.4 jsou znázorněny jednotlivé části FV panelu v řezu. Zadní strana článků je chráněna plastovou fólií (z tedlaru) před povětrnostními vlivy a vlhkostí. Pro zvýšení ochrany se lze setkat i se zasklením zadní strany. Těsnost modulu dokonale zajišťuje vakuová laminace, při které se články zapustí do fólie z EVA (etylen – vinyl – acetát). Jedná se o průhlednou látku, jež mimo jiné zajišťuje elektrickou izolaci článků. Vrchní část kryje celý modul speciální tvrzené sklo, které obsahuje pouze malé množství oxidu železa. Čím se zvyšuje propustnost světla. Pro další zlepšení optických vlastností má krycí sklo antireflexní vrstvu, která snižuje ztráty odrazem světla. Pro zajištění maximální mechanické odolnosti se celý modul usazuje do pevného, většinou hliníkového rámu. Tento rám je nezbytný pro koncovou montáž FV panelů např. na střechu domu.



Obr. č. 2.4 – Jednotlivé vrstvy FV panelu v řezu – převzato z [4]

3 TERMICKÉ SOLÁRNÍ SYSTÉMY

Jak samotný název napovídá, tyto soustavy produkují teplo, kterým lze ohřát vodu v bazénu, teplou užitkovou vodu (TUV), anebo kombinovaný systém na přitápění objektu a ohřev TUV. Je zde nutno si uvědomit, že jakkoli dobře navržený solární systém nebude krýt potřebu energie na 100%. Proto vždy je třeba počítat s doplňkovým zdrojem energie. Výjimkou může být jen sezónní provoz, kde jsme i případně ochotni slevit ze svých požadavků.

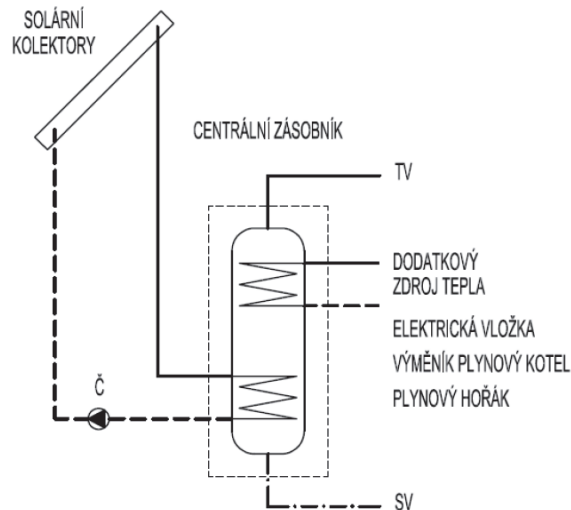
U těchto systémů se lze setkat mj. s určitým dělením na systémy pasivní a aktivní. U pasivních soustav se teplo přenáší pasivně pomocí přirozené konvence. Je zde absence jakéhokoli technického zařízení, které by zajišťovalo transport tepla. Tyto systémy se vyznačují svou jednoduchostí. Mají však jednu ne vždy splnitelnou podmínku. Kolektory musí být umístěny pod zásobníkem vody. Díky čemuž se tato varianta moc nepoužívá.

Aktivní systémy se vyznačují tím, že přenos tepla zajišťuje oběhové čerpadlo s vlastním regulátorem. Celý systém je tím více flexibilní. Samotné čerpadla však spotřebovává elektrickou energii a je to i prvek, který má zpravidla nižší životnost než zbytek systému.

- **Solární systém na ohřev TUV**

Tyto instalace se u RD zpravidla používají celý rok. Při jejich dimenzování je však nutno postupovat opatrně. Energetické zisky i toho nejkvalitnějšího kolektoru jsou limitovány okolní teplotou a charakterem slunečního záření (kratší den, nízká intenzita, slunce nízko nad obzorem). Musí se tedy zvolit taková varianta (počet kolektorů), aby systém nebyl předimenzován a nebyl při letních měsících jeho bezpečný provoz.

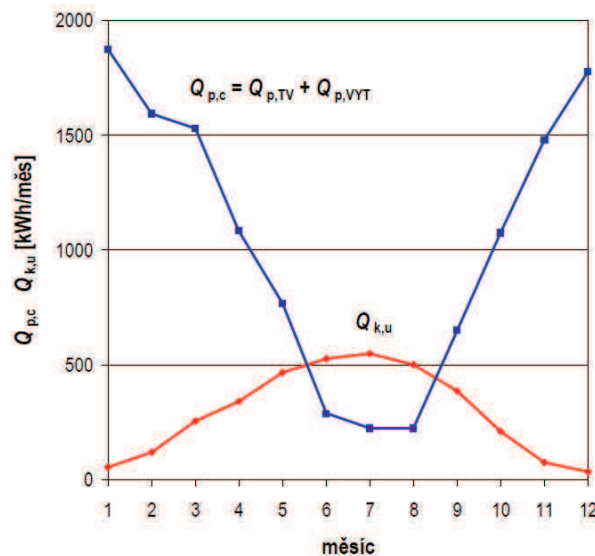
Základní prvky fototermického systému pro ohřev teplé vody jsou znázorněny na obr. č. 3.1, pomocí kterého lze fungování celé soustavy následně popsat. Na solární kolektor dopadá sluneční záření. To ohřeje teplotnosné médium, které je potrubím transportováno do zásobníku teplé vody, kde přes výměník předává energii vodě. Celý provoz zajišťuje oběhové čerpadlo s elektronickým regulátorem.



Obr. č. 3.1 – Schéma jednoduché solární soustavy – převzato z [1]

- **Kombinovaný solární systém na ohřev TUV a přitápění**

U nízkoenergetických a pasivních domů se roční podíl solárního krytí pohybuje okolo 30%. Před instalací takovéto kombinované soustavy je však důležité si uvědomit, že zde dochází k extrémnímu rozdílu mezi potřebou energie na přitápění a TUV a možnou nabídkou sluneční energie.



Obr. č. 3.2 – Příklad solárních zisků vs. potřeba na TUV a vytápění RD – převzato z [9]

Proto je zde přímo žádoucí předem vědět, jak využiji přebytky v letních měsících. Jako vhodná varianta se nabízí ohřev vody v bazénu [1]. Ovšem osobně se domnívám, že instalace solárních systémů obecně by měla vézt snížení energetické náročnosti a úspore finančních prostředků. Bojím se tedy, aby si lidé nepořizovali bazény jen proto, aby měli, kde spotřebovávat přebytečnou energii.

- **Solární systém na ohřev bazénové vody**

Využití solárního ohřevu vody v bazénu má své výhody. Z pravidla se jedná o sezónní využití, kdy je dávky sluneční energie vyšší. Zde se tedy potřeba energie přibližně kryje s její nabídkou. Vody v takovém systému se ohřívá cca na 35°C. Tím pádem si zde vystačíme s jednoduchými kolektory bez zasklení (většinou gumové), které jsou určeny jen pro tyto sezónní aplikace.

3.1 Energetické parametry solárních systémů

Energetické hodnocení solárních systémů lze vyjádřit několika parametry.

- **Využitelný tepelný zisk Q_{ss} v daném období (rok) - [kWh/rok]**

Při stanovení této hodnoty je nutno započítat všechny ztráty v dané aplikaci. Nejpřesnější hodnotu bychom získali samozřejmě měřením. Při výpočtech nelze do konečné hodnoty započítávat nevyužité přebytky.

- **Dodatková energie Q_d**

Dodatkový zdroj tepla slouží pro dohřev v solární soustavě v případě, že energie produkovaná solární soustavou nedokáže pokrýt potřebu tepla. V bilanci solární soustavy pro krytí celkové potřeby tepla Q_p platí

$$Q_p = Q_d + Q_{ss} \quad [\text{kWh}]. \quad (3.1)$$

- **Solární pokrytí, solární podíl – f**

Solární pokrytí (měsíční, roční) slouží jako nejefektivnější možnost hodnocení solárního systému. Je to poměr mezi využitými zisky solární soustavy Q_{ss} a celkovou potřebou tepla (včetně ztrát) dané aplikace Q_p

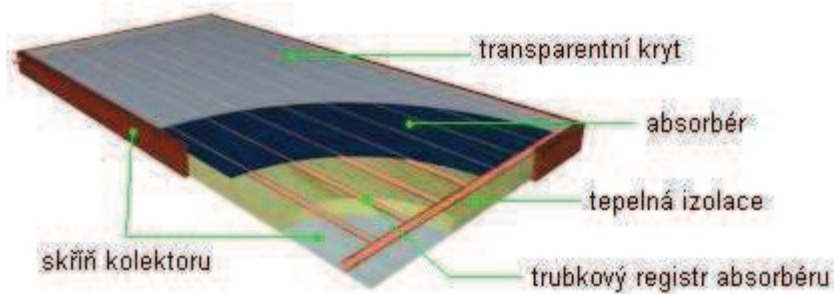
$$f = \frac{Q_{ss}}{Q_p} = \frac{Q_p - Q_d}{Q_p} = 1 - \frac{Q_d}{Q_p} \quad [-]. \quad (3.2)$$

3.2 Solární kolektor

Bez solárního kolektoru se neobejde žádný solární termický systém. Kolektor pohlcuje paprsky slunečního záření, jehož energii předává teplonosnému médiu. Nejjednodušší kolektor může být černě natřený sud s vodou, kdy kolektor je zároveň i zásobníkem tepla.

Nejpoužívanější plochý kolektor se skládá z několika prvků: transparentní vrstva, absorbér, tepelná izolace a skříň kolektoru (obr. č. 3.3). Absorbér pohlcuje sluneční záření a mění ho na teplo. Vzniklé teplo ohřívá teplonosné médium, které protéká absorbérem. Ten je umístěn v dobře izolované skříni. Izolace je ze všech stran kromě té, která je přijímá sluneční

záření. Sluneční stranu pokrývá transparentní vrstva, která propouští záření dovnitř a zároveň by neměla vyzařovat teplo absorbátu ven.



Obr. č. 3.3 - Jednoduchý náčrt kolektoru – převzato z [15]

Pro určení účinnosti solárního kolektoru a následné návržení termického systému je významným parametrem vztahná plocha kolektoru. Rozlišujeme plochu absorbéru A_A , kde dochází k cílené přeměně slunečního záření na teplo, a plochu apertury A_a jako plochu průmětu otvoru, kterým vstupuje sluneční záření do kolektoru. Dále se můžeme setkat s celkovou plochou kolektoru A_G danou jeho rozměry kolektorové skříň [1].

Každý solární kolektor by měl být od výrobce charakterizován následnými parametry, které jsou zapotřebí k určení křivky účinnosti při různých klimatických podmínkách, jsou optická účinnost, lineární a kvadratický součinitel tepelné ztráty. Zde je důležité dodržovat, ke které ploše kolektoru jsou vztaženy. Především u trubkových kolektorů se parametry vztažené k jednotlivým plochám velmi liší. Účinnost solárního kolektoru je definována vztahem

$$\eta_k = \eta_o - a_1 \cdot \left(\frac{t_m - t_e}{G} \right) - a_2 \cdot G \left(\frac{t_m - t_e}{G} \right)^2, \quad (3.3)$$

kde η_o je optická účinnost kolektoru,

a_1 [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$] je lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru,

a_2 [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-2}$] je kvadratický součinitel tepelné ztráty,

G [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] je sluneční ozáření,

t_m [$^{\circ}\text{C}$] střední teplota teplotnosné kapaliny v kolektoru,

t_e [$^{\circ}\text{C}$] teplota okolí.

3.2.1 Ploché kolektory

Ploché kolektory jsou nejpoužívanější pro ohřev TUV nebo případné přitápění. V ČR tvoří cca 80% trhu, což je dáno dobrým poměrem cena/výkon a určitou tradicí u nás. Jejichž

cena se pohybuje v rozmezí přibližně od 10 do 23 tisíc Kč (bez DPH) za kus. Nejběžnější jsou kolektory s jednoduchým zasklením solárním sklem a důležitou spektrálně selektivní vrstvou na ploše absorbéru, která je navařena nebo nalisována na trubkovém registru, kde proudí teplonosná kapalina odvádějící získané teplo. Ploché kolektory se běžně na rodinné domy do nosných konstrukcí, ale mohou se také přímo integrovat do obálky budovy. Část střešní krytiny nebo fasády je tak nahrazena plochým solárním kolektorem. Tato integrace přináší vizuálně přívětivější řešení. Díky kontaktu s izolací budovy má samotný kolektor nižší ztráty (vyšší účinnost). Přímá integrace do fasády dále snižuje dobu, kdy dochází v létě ke stagnaci systému [1].

3.2.2 Ploché vakuové (nízkotlaké) kolektory

Jedná se o solární kolektory, které jsou na pohled prakticky stejné jako běžné ploché kolektory. Jsou však rozdílné uvnitř kolektorové skříně, kde je snížený tlak pro omezení volného proudění vzduchu mezi absorbérem a zasklením, resp. zadní stranou, kde není izolace (byla by zbytečná). Tlak blízký vakuu minimalizuje tepelné ztráty kolektoru. Pro omezení jakýchkoli netěsností je kolektorová skříň jednoduše výlisek, který je překryt solárním sklem pomocí tepelně velmi odolným těsněním. Uvnitř kolektoru je tlak 1 až 10 kPa. Kolektor je pro kontrolu tlaku vybaven manometrem a obsahuje ventil ve vaně kolektoru pro případnou obnovu vakua. Zbytkový vzduch lze nahradit vzácným plynem (krypton, argon), který má nižší tepelnou vodivost. Jelikož atmosférický tlak tlačí na zasklenou plochu velkou silou, jsou mezi sklem a zadní částí vany umístěny rastrově uspořádané podpěry z nerez, které prochází absorbérem ale bez jakéhokoli kontaktu. Kolektor je vakuován až po instalaci na střechu. Kromě vakua se používá k náplni kolektoru také krypton [1].

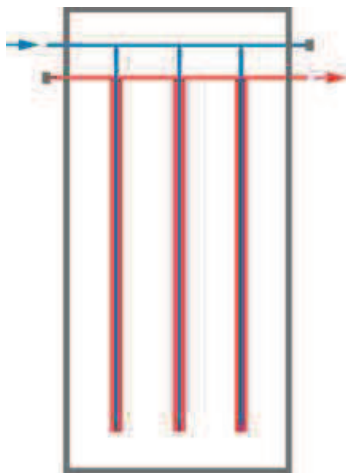
3.2.3 Trubicové vakuové kolektory

Samotný název těchto kolektorů vystihuje jejich základní rysy. Celý kolektor je spojení několika trubic vedle sebe, které se spojují v horní části zvané rozdělovač. Sluneční záření tedy dopadá na válcovou plochu, tudíž není dopadající energie tolik závislá na orientaci kolektoru. Další relativní výhodou je větší plocha pro difúzní složku záření. Trubice se vyrábí z borokřemičitého skla s vysokou pevností. Druhý přívlastek v názvu v sobě skrývá druh izolace absorbéru. Prostor mezi absorbérem a zasklením je vakuován na tlak $<10^{-3}$ Pa. Absence molekul plynů ve vakuu, téměř dokonale zamezuje tepelným ztrátám.

Trh trubicových kolektorů nabízí velké množství kolektorů s různými principy.

Základním společným prvkem je vysoce spektrálně selektivní absorbér. Teplo se váže na teplotonosnou kapalinu buď přímo v měděných trubkách (většinou v U-registru) spojených s absorbérem nebo v tepelné trubici. Trubicové kolektory dosahují provozní teploty nad 100°C, proto se používají především pro kombinované soustavy na přitápění nebo v průmyslových vysokoteplotních aplikacích. Jsou však poměrně dražší než ploché kolektory. Což značně zabraňuje jejich širšímu použití. Jejich cena se pohybuje v rozmezí přibližně od 15 do 28 tisíc Kč (bez DPH) za kus a je závislá mj. na počtu trubíc.

- *Jednotěnné trubicové kolektory* obsahují plochý absorbér s přivařenou měděnou trubkou, kterou přímo protéká teplotonosná kapalina. Vakuum je okolo absorbéru.

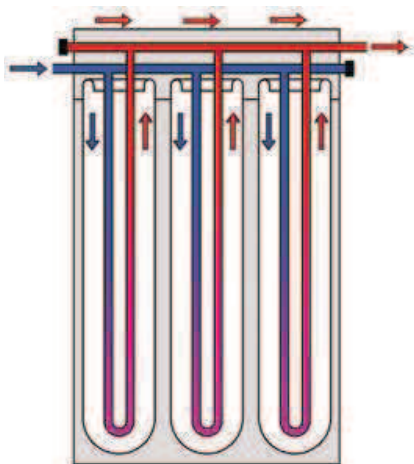


Obr. č. 3.4 – Hydraulické schéma



Obr. č. 3.5 – Řez vakuovou trubicí

- V *dvoustěnném trubicovém kolektoru* ve vnitřní skleněné trubic je válcový absorbér ve formě speciálních lamel, které jsou spojeny s měděnými trubičkami pro odvod získaného tepla. Prostor mezi vnější a vnitřní trubicí je vyplněn vakuem.

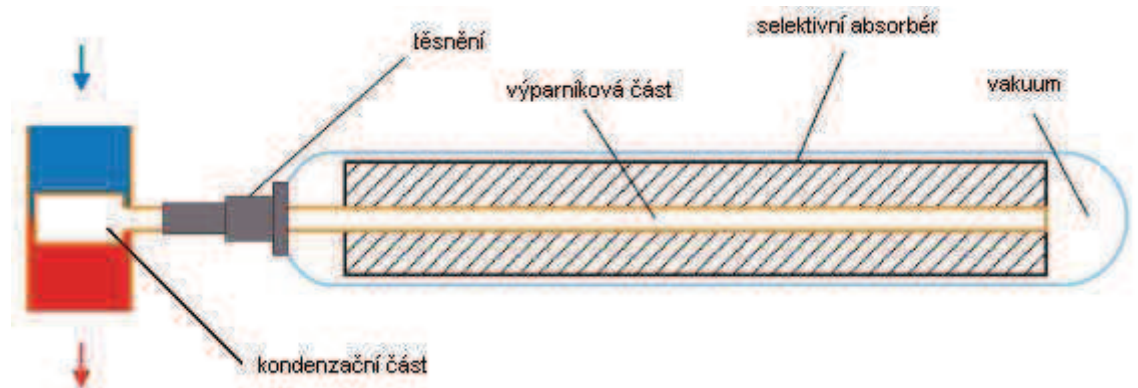


Obr. č. 3.6 – Hydraulické schéma



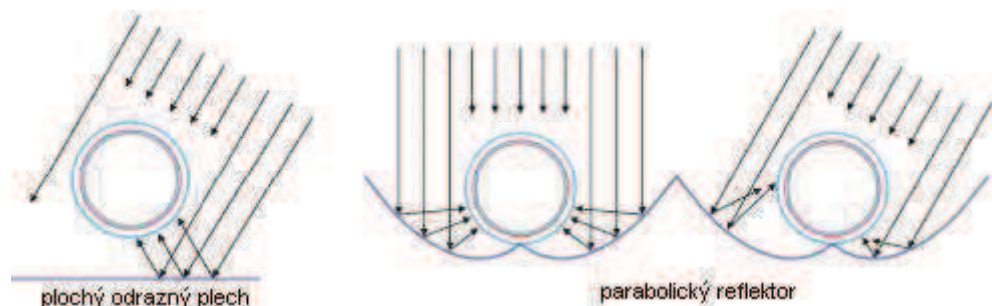
Obr. č. 3.7 – Řez dvoustěnnou trubicí

- *Tepelná trubice (HEAT PIPE)* se používá jak u jednostěnných, tak i u dvoustěnných trubicových kolektorů. Schéma tepelné trubice je na obr. č. 4.6. Tepelná trubice je opět měděná trubka. Část trubky uvnitř vakuové trubice se nazývá kondenzační část, kde se pracovní látka (čistá voda, případně s aditivy, nebo líh v podtlaku) zahřeje, až se změní v plynné skupenství. Zahřátý plyn odevzdává své teplo v kondenzační části teplonosné kapalině celého systému. Poté se pracovní látka změní zpět v kapalinu a vrací se do výparnickové části. Aby se kondenzát mohl samovolně vracet zpět, musí být kolektory s tepelnou trubicí instalovány s minimálním sklonem 20–25°.



Obr. č. 3.8 – Řez jednostěnným trubicovým kolektorem s tepelnou trubicí [3]

- *Koncentrační kolektory* pomocí optických prvků soustřeďují přímé sluneční záření do ohniska absorberu (obr. č. 4.7). Jako odrazné plochy se používají jednoduché ploché reflektory nebo parabolické reflektory. Reflektory zvětšují plochu apertury při stejné hrubé ploše kolektoru. V zimním období nastává problém s hromadícím se sněhem a následnou tvorbou ledu, který má negativní vliv na skleněné trubice [3].



Obr. č. 3.9 – Využití reflektorů – [3]

3.3 Teplonosná látka

Teplonosná látka (médium) je náplň absorberu, kde na sebe naváže teplo, které

transportuje k dalšímu využití. Druh teplotního média je závislý na druhu a použití solární soustavy jako celku. Základním rozdělením média je na kapalinové a vzduchové, které se používá málokdy u speciálních aplikací. Pro svou dostupnost je nejčastěji používaná samotná voda nebo s různými příměsmi.

Důležitým faktorem je časové období, kdy je solární soustava v provozu. Samotná voda se používá u aplikací, kde není vystavena riziku zamrznutí. Jde o sezónní ohřev TUV nebo bazénové vody. V těchto jednoduchých systémech je ohřátá voda z kolektoru určena k přímé spotřebě. Na zimní období je nutné kolektory s běžnou vodou vyprázdnit.

V soustavách na ohřev TUV a případně na přitápění pro celoroční provoz je primární (kolektorový) okruh plněn směsí vody a nemrzoucí solární kapaliny. Jedná se o speciální kapaliny na bázi propylenglykolu (na rozdíl od známého Fridexu jsou nejedovaté). Navíc obsahují inhibitory koroze [3].

3.4 Zásobníky tepla

Teplota navázané na teplotní médium je potřeba skladovat pro následnou spotřebu v akumulacích nádobách. Druh a velikost solárních zásobníků je opět závislý na dané konkrétní solární soustavě. Běžně v soustavách pro rodinný dům se používají bivalentní, resp. trivalentní zásobníky pro krátkodobou akumulaci (na cca 1 až 3 dny). Jde o kombinované zásobníky, kde základním zdrojem tepla je solární výměník primárního okruhu, který je doplněn záložním zdrojem tepla pro dny, kdy Slunce nesvítí. Dochází-li k rozšíření stávající otopné soustavy o solární kolektory, předradí se monovalentní solární zásobník před běžný plynový nebo elektrický ohříváč či kotel na tuhá paliva. Objem akumulacní nádrže je úměrný potřebě tepla (teplé vody) a počtu osob v domě. Prakticky se volí objem zásobníku 1,5 až 2krát větší než je potřeba vody. Dlouhodobá akumulace se využívá zřídka, protože vyžaduje velké investiční náklady spojené s několikanásobně větší kolektorovou plochou a velikostí akumulacní nádrže. Tato možnost se v našich poměrech realizuje jen ojediněle [3].

3.5 Automatická regulace a oběhové čerpadlo

Tyto dva prvky obsahují všechny solární soustavy s nuceným oběhem. Naopak samotné (pasivní) soustavy, které pracují díky teplotnímu spádu (kolektor je umístěn pod zásobníkem), se obejdou bez regulace a čerpadla. Oběhové čerpadlo pracuje na popud regulačního zařízení a je na něm zcela závislé.

Regulátor je napojen na teplotní čidla umístěné na výstupu kolektoru (T_0) a v dolní

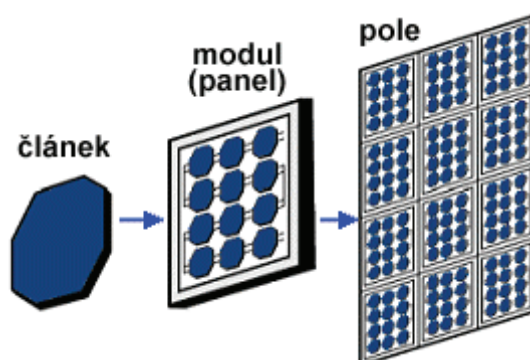
části solárního ohřivače (T_1) a stále vyhodnocuje jejich teplotní rozdíl $\Delta T = T_0 - T_1$. Vzrosteli teplota T_0 nad teplotu T_1 , regulátor sepne čerpadlo. Minimální doporučený teplotní rozdíl pro sepnutí se uvádí 7°C (cca 2°C jsou ztráty v potrubí). Oběhové čerpadlo pracuje ve dvou zjednodušených režimech, které jsou závislé na intenzitě záření. Ráno, když je intenzita malá, trvá déle, než se médium v kolektorech ohřeje. Podobná situace nastává v později odpoledních hodinách, kdy je v solárním zásobníku již nashromážděné teplo a trvá déle, než se médium v kolektorech ohřeje na teplotu vyšší než v zásobníku. Tento režim provozu čerpadla se označuje jako cyklování. Dopoledne a krátce po poledni, když svítí Slunce nejintenzivněji a voda v zásobníku se začíná ohřívat, pracuje čerpadlo nepřetržitě. Další řešení při tomto stavu je regulace průtoku oběhového čerpadla [3].

3.6 Expanzní nádoba

V řádné solární soustavě se nesmí zapomenout na umístění expanzní nádoby, která dovolí teplotněmu médiu změnit svůj objem, aniž by v soustavě narůstal tlak nebo se otevřel pojistný ventil. Z praktických zkušeností se umísťuje do studené větve kolektorového okruhu a její velikost se volí 2 až 3l/m^2 kolektorového pole [3].

4 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY

Základním prvkem FV systému je fotovoltaický panel (nebo také FV modul), který se skládá z několika solárních článků spojených sériově. Můžeme se setkat také s pojmem fotovoltaické pole, což představuje propojení více FV panelů a vlastně jednu konkrétní realizaci, nebo alespoň její část. Pole FV modulů je vlastně výrobná elektrické energie, neboli fotovoltaická elektrárna (FVE).



Obr. č. 4.1 – Cesta od FV článku přes modul až k FV poli – převzato z [16]

Fotovoltaické systémy se dělí podle použití na 3 základní typy (drobné aplikace, ostrovní systémy a systémy napojené na síť). Výběr jednotlivé varianty je však pro konkrétní místo a účel využití značně omezen. A to hlavně faktem, zda objekt je, či není připojen k distribuční soustavě. Dalším faktorem ale může míra nezávislosti a soběstačnosti v oblasti dodávky elektrické energie.

4.1 Fotovoltaika v ČR po roce 2013

Aktuální postavení fotovoltaiky v České republice je velmi diskutabilní. V posledních letech tato oblast OZE (obnovitelné zdroje energie) prodělala nemalé turbulence. Popisovat jednotlivé zásadní události v tomto oboru by bylo možná zajímavé, avšak dle mého názoru zbytečné. Důležité je, v jaké situaci se fotovoltaika nachází dnes a jak se bude vyvíjet do budoucna.

Zákon č. 310/2013 Sb. novelizuje zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění zákona č. 407/2012 Sb., a další související zákony. Tímto se od 1.1.2014 mj. ruší veškerá podpora výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů (kromě vodní elektrárny do 10 MW). Tento krok jistě způsobí změnu přístupu k solárním systémům na výrobu elektrické energie. FVE už nebudou moci sloužit jako investice za účelem dosažením zisku formou výkupních cen, nebo zelených bonusů. Prakticky

tím odpadá možnost provozování FVE připojením k distribuční síti. Otevírá se tedy prostor pro ostrovní a hybridní aplikace solárních systémů, které přinášejí svému uživateli přínos ve formě úspor nákladů za spotřebu elektrické energie. Už před zmíněnou novelou zákona se začaly využívat FV panely pro ohřev TUV. Tato oblast využití slunečního záření patřila dříve výlučně termickým systémům se solárními kolektory. Klesající náklady na pořízení FV modulů však dala prostor dalšímu použití fotovoltaiky [17].

4.1.1 Net – Metering

Přestože Net – Metering (NTM) v ČR není nyní zaveden, je podle mého názoru nezbytné se o něm zmínit. Název tohoto principu provozní podpory OZE (nejen FVE) je odvozen od *netto měření* nebo *měření čisté spotřeby*. Můžeme se také setkat s označením Net – Billing (*netto účtování*). Velmi trefný a stručný popis, co se pod pojmem Net – Metering skrývá, je *točení elektroměrem oběma směry*. Počátky Net – Meteringu se datují od počátku 80. let 20. století v USA, kde dnes funguje ve většině států. Dále ho využívají v Kanadě a Austrálii. Mezi jeho evropské průkopníky patří Dánsko, Itálie, Španělsko.

Jedná se o nefinanční model podpory výroby elektrické energie z OZE cílený pro malé samovýrobce (domácnosti a firmy), jehož cílem je snížit náklady na elektrickou energii těchto subjektů. Podstatou NTM je možnost výroby elektrické energie za účelem pokrytí vlastní spotřeby a právo využívat distribuční soustavy jako veřejného statku, ovšem na základě předem daných pravidel. Princip Net – Meteringu je následující. Za jasného slunečního dne FVE na rodinném domě vyrobí více energie, než se v domě spotřebuje. Tyto přebytky přetečou zdarma do distribuční sítě a v sousedství se s minimálními ztrátami spotřebují. Toto množství energie je zaznamenáno a připsáno jako pomyslný kredit na účet provozovatele FVE. Tímto se z distribuční soustavy stává jakýsi virtuální akumulátor. Naopak při nepříznivém počasí, kdy FVE nevyrobí, nebo když potřebuje více energie, než aktuálně produkují solární panely, je elektřina odebírána klasicky od distributora ze sítě. Při účtování spotřeby elektřiny za rozhodné období (z pravidla jeden rok) je množství odebrané energie od distributora poníženo o množství, které FVE dodala do sítě. Teoretický ideální stav by samozřejmě nastal, kdyby se úhrn energie z fotovoltaické elektrárny dodané do sítě rovnal množství energie za sítě odebrané. Při předimenzování systému a následné nadvýrobě by energie z FVE propadla zdarma distribuční společnosti. Proto je nutné správně nadimenzovat solární systém, aby jeho produkce se rovnala spotřebě daného objektu.

Konkrétní pravidla pro NTM se mohou pro jednotlivé oblasti lišit. Musí však být legislativně definovány. Jde o dohodu mezi odběratelem (provozovatelem FVE),

obchodníkem s elektrickou energií a distribuční společností. Například v USA je zúčtování zpravidla prováděno měsíčně s konečným bilancováním na konci roku. Je-li měsíční spotřeba majitele FVE vyšší než jeho výroba, zaplatí normální účet za elektřinu dle svého tarifu ponížený o množství vyrobené z vlastního zdroje. Pokud během měsíce vyrobí více elektřiny, než sám spotřebuje, tak se tyto přebytky překloupí do dalšího měsíce období jako volné minuty za telefon. Jsou-li při ročním bilancování stále evidovány přebytky, řeší je jednotlivé státy v USA například takto:

1. přebytek je majiteli zdroje proplacen a v novém období začíná zase od nuly,
2. přebytek je majiteli proplacen, ale jen do určité výše (např. 25 % jeho roční spotřeby),
3. přebytek se překloupí do dalšího období,
4. přebytek propadne distributorovi. Za silovou elektřinu majitel zdroje nezaplatí nic, ale nedostane ani nic navíc a v novém zúčtovacím období začíná zase od nuly,
5. ... a další.

Výhody Net - Meteringu:

- snižuje účty za elektřinu,
- podporuje rozvoj OZE a energetických úspor na úrovni domácností i firem,
- snižuje riziko investice,
- rozšiřuje dobu využívání elektřiny z vlastního zdroje bez nutnosti vlastní akumulace,
- je administrativně nenáročný,
- vyžaduje jen minimální nebo žádnou podporu z veřejných financí,
- podporuje průmysl (projektanty, obchodníky, řemeslníky) zabývající se FV
- distribuční společnosti získávají zadarmo veškerou nadbytečně energii.

Nevýhody Net - Meteringu:

- pro konečného spotřebitele elektřiny ŽÁDNÉ NEVIDÍM,
- snižování zisků obchodních a distribučních společností, s tím spojený možný nárůst cen za elektrickou energii,
- další šance nevhodného nastavení podmínek (viz. předchozí solární boom v ČR).

Zavedení Net – Meteringu by byla zajisté další šance, jak podporovat výrobu elektřiny z OZE a celá tento obor. Jeho přínosem by mělo generování úspor za spotřebu elektrické energie u malooběratelů, nikoli dosažení zisků. Před jeho zavedením bude však nutné vhodně upravit legislativu tak, aby Net – Metering byl přínosem pro všechny [18].

4.2 Drobné aplikace

Jako průkopník těchto drobných FV aplikací je známa kalkulačka se solárním článkem. Dnes je možno vidět použití menších FV modulů jako napájení dopravního značení nebo parkovacích automatů. Stále větší poptávka je po solárních nabíječkách pro naše přenosná zařízení nejrůznějšího typu. Zástupcem této kategorie jsou také solární lampy, které mohou zlepšovat orientaci na pozemku RD.

4.3 Ostrovní systémy (grid - off)

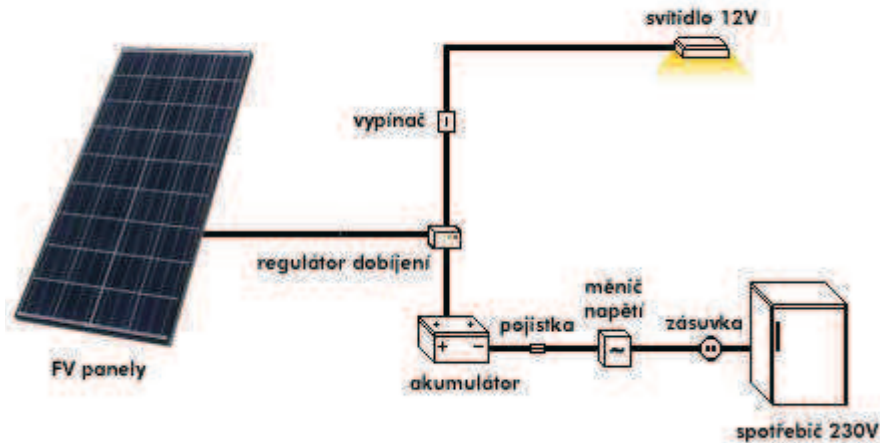
Jedná se o autonomní instalaci FV systému u objektu, který není připojen na distribuční soustavu („není součástí sítě“). Využívají se tam, kde není elektrická přípojka, anebo by její vybudování bylo značně neekonomické. Objekty využívající ostrovní systém jsou například rekreační chaty a zahrady, karavany, lodě, apod. Zde je FVE vhodný zdroj elektrické energie. Jedná se totiž o zařízení, která jsou využívána v drtivé většině sezónně, řekněme od dubna do září. Zde se tedy časové využití, resp. potřeba elektrické energie velmi podobá průběhu nabídky sluneční energie. Pro ideální provoz ostrovních systémů je účelné pořídit spolu s FV instalací také spotřebiče, které se mohou připojit k stejnosměrnému napětí 12, resp. 24 V. Off - grid systémy se dále dělí na systémy s přímým napájením, systémy s akumulací elektrické energie a hybridní systémy.

- **Systémy s přímým napájením**

U ostrovních systémů s přímým napájením jsou FV moduly a spotřebiče jednoduše propojeny jen přes regulátor napětí. Používání takového systému je velmi nekomfortní, jelikož je jeho uživatel zcela odkázán na vývoj počasí během dne. Po západu Slunce samozřejmě odpadá možnost používání jakýchkoli spotřebičů. Přímě napájené systémy jsou vhodné například pro pohon oběhového čerpadla u termického solárního systému, pohon protislunečních clon či nabíjení malých přístrojů jako svítilny, mobilní telefon, notebook, apod.

- **Systémy s akumulací elektrické energie**

Zde díky možnosti akumulace elektrické energie již uživatel není zcela odkázán na aktuální nabídku slunečního záření. Nezbytnou součástí jsou tedy speciální solární baterie, které jsou charakteristické svým pomalým nabíjením a vybíjením. Pro proces akumulace je také nepostradatelný regulátor dobíjení, který stará o ochranu a optimální nabíjení/vybíjení akumulátoru. Chceme-li používat i běžné síťové spotřebiče (230 V / ~50 Hz), musí být systém ještě rozšířen o napěťový střídač.

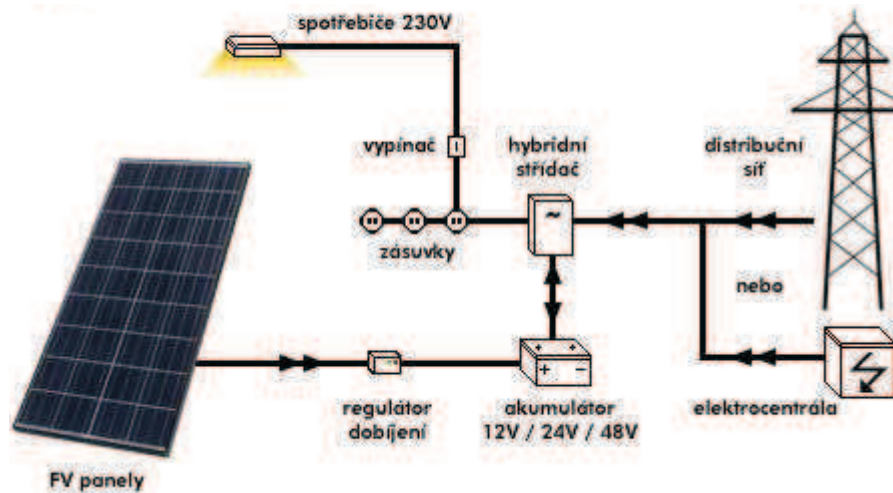


Obr. č. 4.2 – Schéma ostrovní FVE – převzato z [19]

4.3.1 Hybridní systémy (grid – free)

Hybridní systém se většinou instaluje tam, kde je vyžadován celoroční provoz. Tato varianta je oproti té předchozí rozšířena o doplňkový zdroj elektrické energie. Ačkoli se hybridní systémy provozují jako ostrovní systémy, jejich sekundární zdroj je velmi často distribuční síť, je-li ovšem dostupná. Pokud dostupná není, jako doplňkový zdroj lze použít například elektrocentrálu. Veškeré části hybridního systému jsou však připojeny za elektroměrem na straně vlastníka objektu. Neovlivňuje tedy nijak distribuční síť. Hybridní systémy se totiž provozují za účelem ušetření nákladů za elektřinu, nikoli pro zisky v podobě dotované dodávky energie do sítě. Tím pádem s takovou instalací není spojená žádná nepříjemná administrativa jako povolení provozovatele distribuční soustavy, udělení licence od ERÚ, nutnost stát se podnikatelem, atd.

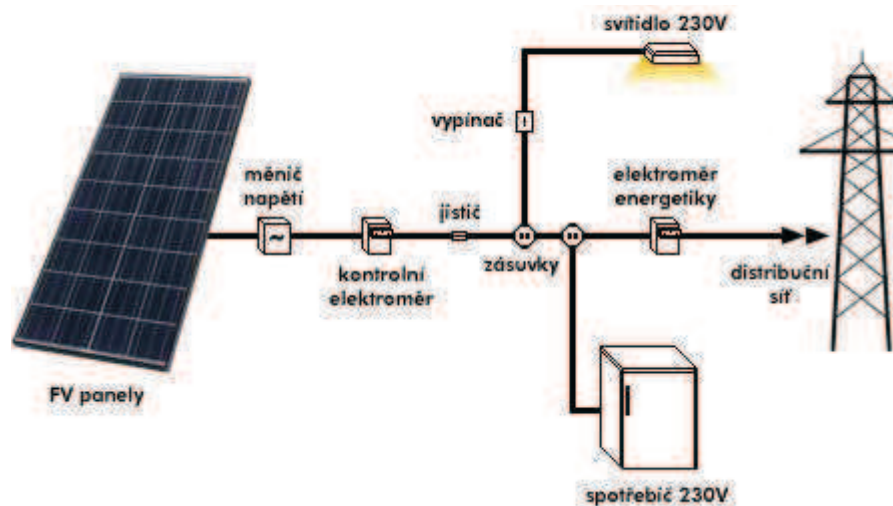
Na obrázku č. 4.3 je celá hybridní FVE, jejíž nezbytnou součástí jsou samozřejmě fotovoltaické panely. Ty jsou připojené přes regulátor dobíjení na akumulátorové baterie. Pomyslným srdcem celého systému je hybridní střídač, jenž řídí spotřebu domu. Prioritou je spotřeba energie přímo z panelů za současného nabíjení akumulátorů. Nedodávají-li FV moduly dostatek energie, čerpá se energie z akumulátorů. Až se baterie vybijí, začne hybridní střídač odebírat energii ze sekundárního zdroje. Fotovoltaické panely a baterie fungují jako primární zdroj a distribuční síť nebo elektrocentrála fungují jako sekundární zdroj. Elektrocentrála se využívá jako sekundární zdroj v místech, kde není distribuční síť.



Obr. č. 4.3- Schéma hybridní FVE – převzato z [20]

4.4 Síťové systémy (grid - on)

FV panely jsou připojené na napěťový měnič pro přeměnu na proud střídavý a zvláštní elektroměr pro odpočet energie vyrobené fotovoltaikou. Takovýto okruh má samostatný jistič a přepěťovou ochranu připojený do rozvaděče v daném objektu. FVE je připojena za hlavní elektroměr z pohledu distribuční společnosti. Spotřebiče v objektu mohou odebírat elektřinu přímo z FVE a tím šetřit náklady na elektrickou energii. Nebo ji v případě přebytků přes hlavní čtyřkvadrantní elektroměr předáme automaticky do sítě.



Obr. č. 4.4 – Schéma FVE připojené na síť převzato z [21]

4.5 Komponenty FVE

Fotovoltaický systém nejsou jen FV panely, jak lze vidět na obrázcích v předchozích kapitolách (4.3 až 4.4). Aby celý systém pracoval efektivně a spolehlivě od výroby až ke spotřebě, je nutné, aby obsahoval některé další speciální solární zařízení.

4.5.1 DC spotřebiče

Stejnoseměrné spotřebiče jsou nutností u jednoduchých ostrovních instalací, které postrádají měnič napětí. Jedná se o specifické úsporné spotřebiče fungující na 12V resp. 24V. Trh s DC spotřebiči je poměrně řídký a s dostupností klasických spotřebičů na 230V / ~50Hz nelze srovnávat. I tak lze objekt s ostrovním systémem vybavit základními spotřebiči, jako jsou např. LED žárovky, kombinovaná lednička, televize, oběhové čerpadlo.

4.5.2 Akumulátorové baterie

Akumulátory jsou nezbytnou součástí ostrovního (resp. hybridního) FV systému. Jejich funkcí je uskladnění přebytků z FVE a po předchozím nabití jsou samozřejmě zdrojem energie po západu Slunce za obzor a během dnů s nízkou intenzitou slunečního záření. Pro solární systémy jsou vhodné akumulátory s delší dobou nabíjení resp. vybíjení. Běžné olověné autobaterie nejsou příliš vhodné, jelikož jsou konstruovány na vysoký proud za krátkou dobu. Přičemž solární moduly by měly během slunečného dne dodávat proud blížící se co nejvíce konstantnímu. Použití autobaterií v solárním systému je i přes své nízké pořizovací náklady neekonomické, jelikož při takovém provozu mají podstatně kratší životnost. Další požadované vlastnosti solárních akumulátorů jsou co nejvyšší energetická účinnost nabíjecího/vybíjecího cyklu, dlouhá životnost (v letech, resp. vysoký počet pracovních cyklů), vyšší odolnost proti hlubokému vybití, nízký minimální nabíjecí proud, nízké samovybíjení (v % za měsíc), odolnost proti nestálosti nabíjecích podmínek a minimální nároky na údržbu. Uživatel FVE také jistě uvítá co nejmenší rozměr akumulátorů, s čímž souvisí co největší hustota energie (Wh/kg).

Ze studie [22] vyplývá, že nejvhodnějšími typy akumulátorů pro solární systémy jsou staniční olověné akumulátory a baterie na bázi fosforečnanu železnato-litného (LiFePO_4 , resp. LiFeYPO_4 - zde je Fe dotováno Yttriem). Jelikož LiFePO_4 akumulátory neobsahují oproti těm olovnatým toxické prvky, mají před sebou určitě velkou budoucnost. Jejich další velkou výhodou je trojnásobně vyšší cyklická životnost a také vyšší hustota energie [23].

Při skládání jednotlivých článků do baterie solárního systému je důležité, aby propojované akumulátory byly stejného typu, se stejnou kapacitou, od jednoho výrobce a nejlépe z jedné výrobní série. Při paralelním spojení jednotlivých článků baterie je nezbytné každý soubor opatřit pojistkou jako ochranu před zkratem nebo v důsledku velkých vyrovnávacích proudů.

4.5.3 Regulátor dobíjení a MPPT měnič

Regulátor dobíjení je velmi důležitou spojkou mezi FV panely a akumulátory, které chrání před jejich hlubokým vybitím, nebo naopak před jejich přebitím. Regulátor měří, jak jsou baterie nabity. V případě potřeby FV panely od akumulátorů odpojí, resp. je zpět propojí. Stará se tedy o správný provozní režim akumulátorů, aby se nezkracovala jejich životnost. Regulátor se volí dle pracovního napětí solárního systému, proudového zatížení FV panelů a podle celkového příkonu spotřebičů. Další parametr pro výběr vhodného regulátoru nabíjení je typ použitých baterií.

MPPT (Maximum Power Point Tracker, sledovač bodu maximálního výkonu) regulátor může plnit mj. funkci klasického solárního regulátoru nabíjení a zároveň vylepšuje jeho nedostatky. Díky MPPT dochází k optimalizaci nabíjení. MPPT obsahuje vysokofrekvenční DC/DC měnič, který přizpůsobuje hodnoty napětí a proudu pro ideální nabíjení akumulátorů. Nesporná výhoda kvalitního MPPT měniče proti běžnému solárnímu regulátoru, je možnost využití solárních panelů s napětím třeba i 150V. MPPT měnič je totiž schopný zpracovat výkon z těchto několika různě pospojovaných modulů velmi efektivně i při mnohem vyšších napětích, než je napětí připojených akumulátorů. V systému přitom dochází k minimálním ztrátám. Čehož samotný solární regulátor není schopen dosáhnout. MPPT měnič je schopen pracovat s velkým rozsahem vstupního napětí (např. 15V – 150V). Díky tomu lze FV panely libovolně zapojovat (sériově, paralelně, sério-paralelně) pro téměř jakékoli napětí [24].

4.5.4 Měnič napětí

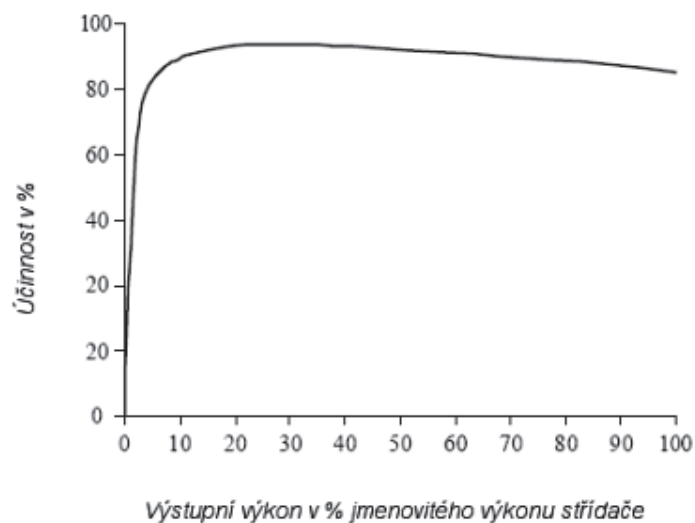
Neboli napěťový střídač, či invertor je zařízení, které slouží k přeměně stejnosměrného výstup FV modulů na parametry rozvodné sítě (230V / ~50Hz). Střídač může zastávat také další doplňkové funkce (monitoring sítě a provozních údajů, ochranné funkce). Především sběr a následná analýza dat jsou důležité pro kontrolu chodu celého systému. Při náhlé změně výroby má tak provozovatel k dispozici nástroj, jenž ho na případné chyby upozorní. Výrobci střídačů poskytují nejrůznější komunikační a datovou podporu umožňující komfortní kontrolu výroby a sledování poruch. Stahování dat a jejich následné zobrazování na displejích pomocí kabelových nebo bezdrátových technologií je dnes zcela běžné. Pomocí může také zasílání chybových hlášek pomocí sms nebo e-mailu. Výkon měniče je dimenzován dle maximálního výkonu připojených spotřebičů. Je však vhodné počítat s určitou výkonovou rezervou pro další potenciální spotřebiče. Měnič by měl mít minimální vlastní spotřebu. Musí být odolný proti krátkodobému přetížení a musí umožnit krátkodobé vysoké hodnoty rozběhového

proudu. Dále musí mít ochranu proti přepětí a přetížení ve výstupní části. Můžeme se setkat s měniči s transformátorem nebo bez něj. Beztransformátorové střídače mají vyšší účinnost, která je však vykoupena sníženou ochranou střídače díky absenci galvanického oddělení. Využívá-li fotovoltaický systém amorfní články (i ostatní tenkovrstvé panely), je galvanické oddělení nezbytnou nutností. Na správný výběr ideálního střídače má vliv několik jeho parametrů.

- **Účinnost přeměny**

Zde se setkáváme s účinností dvou druhů, a to *maximální* η a tzv. *evropskou* η_{EU} . Vysoká maximální účinnost zcela neodpovídá realitě o kvalitě střídače. Dosahuje se jí jen za optimálních podmínek (zpravidla při jmenovitém DC napětí a středních hodnotách AC výkonu). Obzvláště pro naši zeměpisnou šířku více vypovídá účinnost evropská, ve které se odráží měnící se klimatické podmínky a jednotlivé účinnosti při různých stupních zatížení střídače (5, 10, 20, 30, 50, 100%). Je dána vztahem [5]

$$\eta_{EU} = 0,03 \cdot \eta_{5\%} + 0,06 \cdot \eta_{10\%} + 0,13 \cdot \eta_{20\%} + 0,1 \cdot \eta_{30\%} + 0,48 \cdot \eta_{50\%} + 0,2 \cdot \eta_{100\%}. \quad (4.1)$$



Obr. č. 4.5 – Závislost účinnosti střídače na jeho výkonu – převzato z [5]

- **Rozsah MPP**

Jedná se napěťový rozsah všech možných MPP bodů, ve kterém by měl být střídač optimálně pracovat. Vstupní DC napětí se vlivem rozdílných teplot FV panelů během celého roku velmi mění (viz. obr. č. 2.3). Je však důležité, aby si střídač držel vysokou účinnost konstantně v celém pracovním rozsahu, výkyvy v hodnotách jsou nežádoucí.

- **Účinnost přizpůsobení MPP**

Účinnost přizpůsobení MPP je dalším důležitým parametrem napěťového měniče. Jedná se o

parametr udávající rychlost a přesnost reakce na změnu klimatických podmínek. Tuto funkci má ve střídači na starosti MPPT, který změnou vstupního odporu zajišťuje optimální chod střídače. Hodnota tohoto parametru u dnešních kvalitních střídačů neklesá pod 99%.

- **Využití více výkonových dílů**

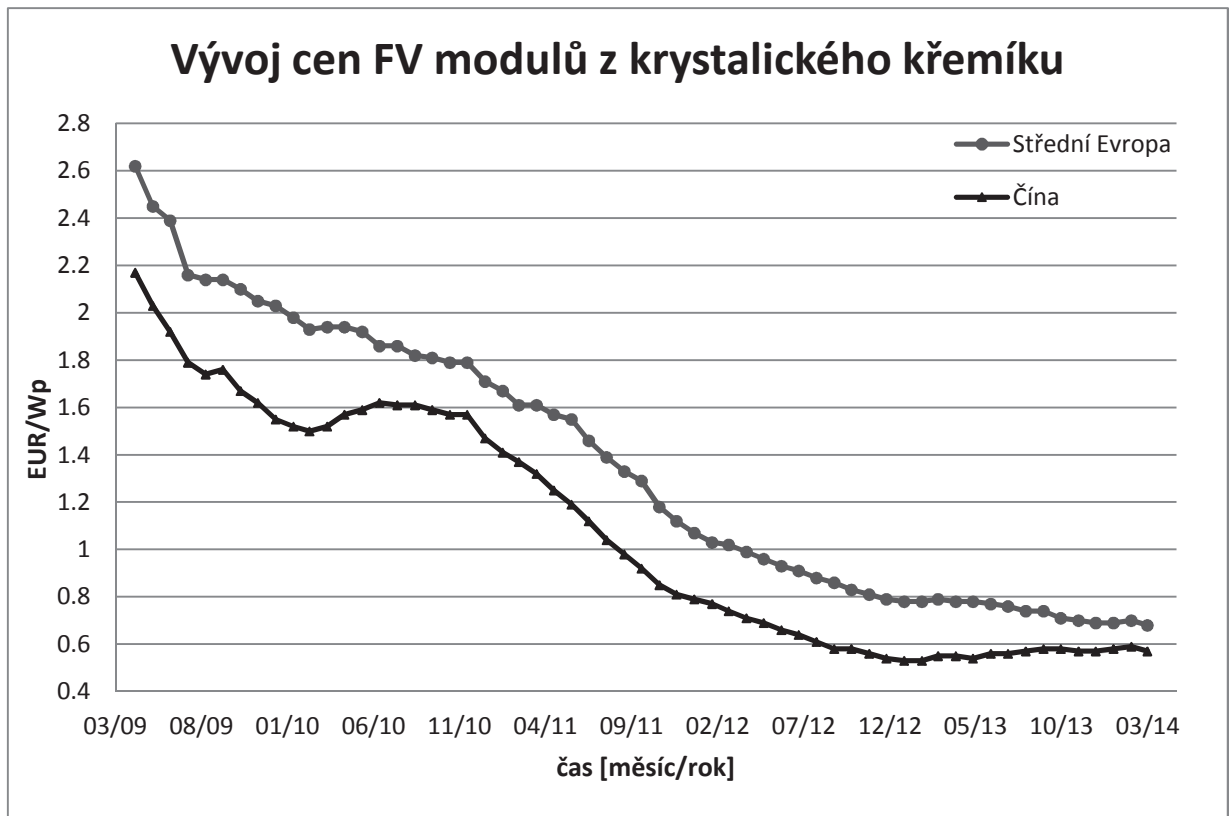
Některé střídače jsou složeny z několika výkonových stupňů. Takovéto uspořádání je žádoucí především pro oblasti s častou změnou klimatu (oblačnost, mlhy), kdy jsou střídače zatíženy pouze částečně. Aby se vždy využíval nejméně opotřebovaný díl, je nutné sledovat hodinové využití jednotlivých dílů. Nižší výkonové stupně mají při částečném zatížení vyšší účinnost. Další stupně spínají dle aktuálních klimatických podmínek. Další výhodou stavby měniče z několika výkonových dílů je fakt, že jednotlivé díly mohou zastat práci ostatních. Například při poruše jednoho dílu převezmou ostatní výkonové díly jeho činnost, aniž by jeho výpadek znamenal znatelný pokles výroby. Tato koncepce více výkonových dílů zvyšuje aktuální účinnost střídače, prodlužuje jeho životnost a zajišťuje stálý chod střídače[25].

4.5.5 Hybridní střídač

Jak přívlástek hybridní naznačuje tento typ měniče napětí je srdcem grid – free systémů. Hybridní střídač řídí dodávky elektřiny ke spotřebičům tím, že rozhoduje (určuje priority), z jakého zdroje se bude energie čerpat. Priority se dají konkrétně nastavit. Z pravidla jsou většinou nastaveny, jak je popsáno v předchozí kapitole 4.3.1 (druhý odstavec). Kvalitní hybridní měniče zastávají také další funkce, které jsou nezbytné pro efektivní provoz hybridního FVE, jako např. solární regulátor s MPPT.

4.6 FVE pro ohřev TUV

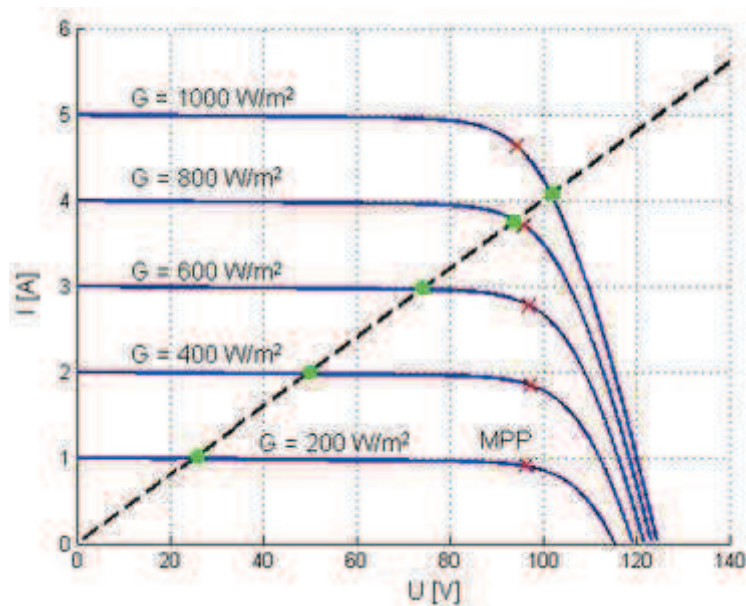
Ohřev teplé užitkové vody pomocí slunečního záření bylo do nedávna zcela výlučně úkolem solárních kolektorů pomocí fototermální přeměny. Ovšem v posledních letech se solární průmysl vyvíjel tak, že se pro ohřev TUV využívají také fotovoltaické panely. Stalo se tak díky dvěma faktorům. Jednak podpora výroby elektrické energie z FVE byla značně omezována, později úplně zrušena. Druhým impulzem pro toto nové využití fotovoltaiky byl současný rychlý rozvoj FV technologií a s tím spojený pokles cen FV panelů. Na grafu č. 4.1 je znázorněn vývoj cen FV panelů (EUR/W_p) od května 2009 do března 2014, kdy se za těchto necelých 5 let cena (EUR) za jeden W_p понížila zhruba o 74%.

Graf č. 4.1 - Vývoj cen FV panelů EUR/W_p [26]

Použití FV panelů pro ohřev TUV je velice jednoduchý. Panely jsou většinou připojeny na DC vstup elektrického ohříváče vody. Při nepříznivých klimatických podmínkách je ohříváč napájen ze sítě přes AC vstup nebo pomocí trubkového výměníku připojený na další zdroj tepla (krb, plynový kotel, tepelné čerpadlo, apod.). Zde je použit fotovoltaický ohříváč.

Dalším specifickým zařízením, které může být součástí FV systému pro ohřev TUV, je regulátor MPPT. Ten je případně umístěn mezi zdrojem (FV panely) a spotřebičem (topným tělesem). Takovéto zařízení lze připojit na jakoukoli topnou spirálu a dokáže fungovat i v ostrovním režimu. Nejedná se ale o zcela totožný MPPT jako je použit pro nabíjení akumulátorových baterií. V tomto případě MPPT zabezpečuje impedanční přizpůsobení zdroje a spotřebiče, aby se z panelů dostalo co největší množství energie k topnému tělesu. Provozní parametry FV panelů (zdroje) se totiž v závislosti na aktuálním ozáření a teplotě článků neustále mění. Naopak odporová zátěž je konstantní 25Ω . Na obr. č. 4.6 jsou znázorněny V-A charakteristiky při rozdílných hodnotách slunečního ozáření FV zdroje spolu se zátěžovou přímkou tepelného tělesa. Kde je vidět, jak jsou od sebe vzdálené body MPP a pracovní body (průsečíky V-A charakteristiky a zátěžové přímky) bez sledovače MPP. Při

jeho použití vykazuje systém průměrně o cca 30% více energie [27], [28].



Obr. č. 4.6 - V-A char. při různých hodnotách slunečního ozáření FV zdroje spolu se zátěžovou přímkou tepelného tělesa – převzato z [27]

5 SOLÁRNÍ SYSTÉMY PRO MODELOVÝ RD

V této kapitole jsou uvedeny příklady jednotlivých řešení solárního systému. Cílem je porovnání solárního ohřevu TUV jednak pomocí solárních kolektorů a za druhé pomocí elektrického ohříváče napájeného FV panely. Bohužel nebudu uvažovat s využitím letních přebytků např. pro vyhřívání bazénu, jehož samotné pořízení může být dosti finančně nákladné, ale ani by se na malý pozemek příliš nehodil. Dále se modelová studie zabývá, jak by se fotovoltaický zdroj elektrické energie vyplatil při provozování v režimu Net – Meteringu. Jelikož množství získané energie závisí na orientaci a sklonu osluněné plochy, je nutné předem definovat místo pro umístění solárních kolektorů, resp. FV panelů.

5.1 Definice modelového RD

Modelový dům jsem určil na základě vlastního výběru pro své vlastní rodinné sídlo, které by bylo vhodné pro danou stavební parcelu. Následující body popisují daný RB.

- Lokalita: Valcha (okres Plzeň-město); 722472; parcelní č. 1850/91;
- GPS: 49°42'19.344"N, 13°19'56.916"E;
- Stavba: novostavba pasivního domu [29];
- Orientace střechy: +13°;
- Sklon střechy: 40°;
- Rozměry střechy (1/2): 3,95 X 9,95 m; 39,5m²;
- Počet osob: 4;
- Zastínění: žádné; Na pozemku se nachází jeden vyšší ovocný strom, který by byl při případné stavbě RD pokácen. V okolí žádné potenciálně stínící překážky nejsou.

5.1.1 Dopadající energie v dané lokalitě

Pomocí vztahů (1.8 až 1.13) a hodnot z [2] se lze dopočítat přibližných údajů. Množství sluneční energie dopadající na konkrétně orientovanou osluněnou plochu lze určit pomocí dat z [10]. Srovnání těchto dvou zdrojů je shrnuto v následující tabulce.

Tab. č. 5.1 – Denní, resp. množství sluneční energie z různých zdrojů.

Měsíc	45°, 15°				40°, 13°		% ([2]/PVGIS)
	[2]		PVGIS				
	H _d [kWh/m ²]	H _m [kWh/m ²]	H _d [kWh/m ²]	H _m [kWh/m ²]	H _d [kWh/m ²]	H _m [kWh/m ²]	
1	1.04	32.2	1.19	36.9	1.17	36.3	12.6
2	2	56.0	2.24	62.7	2.21	61.9	10.7
3	3.26	101.1	3.44	106.6	3.43	106.3	5.2
4	4.01	120.3	4.93	147.9	4.99	149.7	18.7
5	4.88	151.3	5.2	161.2	5.14	159.3	6.2
6	5.28	158.4	5.17	155.1	5.32	159.6	-2.1
7	5.15	159.7	4.86	150.7	4.99	154.7	-6.0
8	4.63	143.5	4.66	144.5	4.74	146.9	0.6
9	3.86	115.8	3.79	113.7	3.81	114.3	-1.8
10	3.32	102.9	2.47	76.6	2.45	76.0	-34.4
11	1.04	31.2	1.39	41.7	1.37	41.1	25.2
12	0.72	22.3	1.13	35.0	1.12	34.7	36.3
Rok		1195		1233		1241	3.07

Srovnáme-li jednotlivé hodnoty pro stejnou polohu osluněné plochy, tak je vidět, že jsou prakticky stejné. Roční úhrny se liší pouze o 3%. Podíly jednotlivých měsíců jsou znázorněny v posledním sloupci. Dále budu používat pouze hodnoty z dostupné z [10], jelikož by měly být přesnější k dané lokalitě.

5.2 Ohřev TUV

Pro navrhování jakéhokoli zařízení na přípravu teplé užitkové vody je nezbytné určit, kolik teplé vody bude potřeba, na jaký objem soustavu dimenzovat. Při návrhu tepelné soustavy pro novostavby, kdy nejsou k dispozici naměřené hodnoty, je nutno vycházet z hodnot podle určitých technických norem. V [30] je stanovena specifická potřeba teplé vody v rodinném domě 40 – 50 litrů na osobu a den při teplotním spádu 60/15°C. Dle vlastního uvážení bude počítáno s hodnotou 40l/os./den, jelikož jsem zastáncem úsporného způsobu nakládání s energiemi. Je potřeba brát také v úvahu tepelné ztráty zásobníku a celého potrubní, které jsou charakterizovány pomocí paušální přírážky z [9]. Celková spotřebovaná denní energie je

$$Q_{p, den} = \frac{c_v \cdot \rho_v \cdot V_{TV, den} \cdot (t_2 - t_1)}{3600 \cdot 10^3} \cdot (1 + z) \quad [\text{kWh}], \quad (5.1)$$

kde $c_v = 4183 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ je měrná tepelná kapacita vody,

$\rho_{v(37,5^\circ\text{C})} = 993 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ je hustota vody při střední teplotě $t = 0,5 \cdot (t_1 + t_2)$,

$V_{TV, den} [\text{m}^3/\text{den}]$ je denní potřeba teplé vody za určeného teplotního spádu,

$t_2 - t_1$ je teplotní rozdíl vody, která se ohřeje z t_1 na t_2 [31].

- **Denní potřeba TUV**

$$Q_{p, den} = \frac{4183 \cdot 993 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot (60 - 15)}{3600 \cdot 10^3} \cdot (1 + 0,15) = 9,55 \text{ kWh}$$

Nyní je známo množství energie, které je třeba na ohřátí TUV pro 4 osoby za jeden den v roce. Analogickým vynásobením počtem dní jednotlivého měsíce, dostaneme množství energie potřebné na celý měsíc. To bude následně sloužit k energetickému bilancování se solární energií získanou konkrétním solárním systémem.

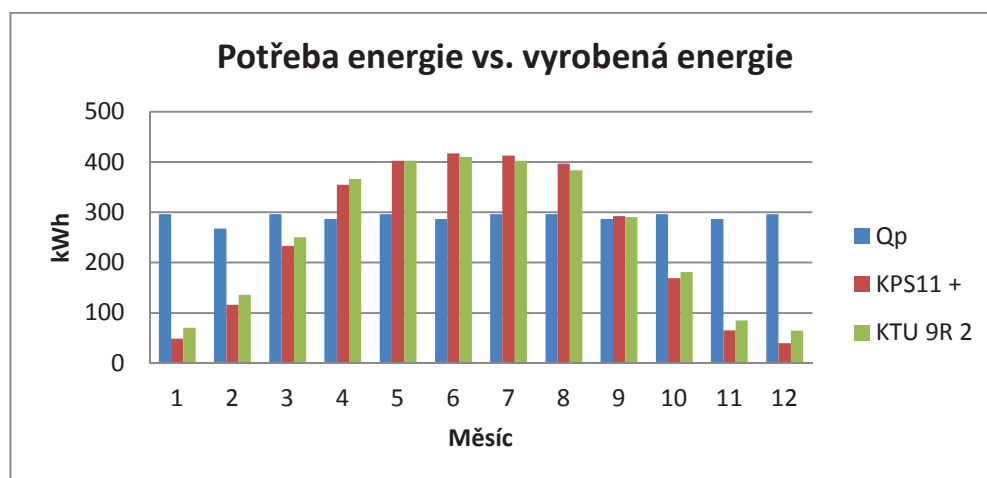
5.2.1 Termický solární systém

Na základě [3], kde jsem se detailněji zabýval návrhem solární soustavy pro ohřev teplé vody, jsem si vytvořil tabulky pomocí MS Excel, pomocí kterých jsem porovnával jednotlivé kolektory. Jako optimální řešení předpokládám použití 2 až 3 tří kusů plochých solárních kolektorů, kdy jejich solární podíl se bude pohybovat okolo 60 - 70%, přičemž by bylo vhodné eliminovat enormní letní přebytky.

Srovnání jsem provedl pro všechny typy kolektorů české firmy Regulus dostupná na [32].

Tab. č. 5.2 – Srovnání vybraných kolektorů (plochý vs. vakuový trubicový)

Plochý			Vakuový trubicový		
Typ	KPS11+		Typ	KTU 9R 2	
η_0	0.79		η_0	2.085	
a_1 [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	3.48		a_1 [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	4.62	
a_2 [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	0.0056		a_2 [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	0.019	
A_k [m ²]	2.59		A_k [m ²]	2.66	
cena/ks [Kč] (bez DPH)	12500		cena/ks [Kč] (bez DPH)	23990	
kusů	2		kusů	2	
cena celkem	25000		cena celkem	47980	
Měsíc	f	Přebytky (Q _s /Q _p -1)	f	Přebytky (Q _s /Q _p -1)	
1	0.16	0.00	0.24	0.00	
2	0.44	0.00	0.51	0.00	
3	0.79	0.00	0.85	0.00	
4	1.00	0.24	1.00	0.27	
5	1.00	0.36	1.00	0.35	
6	1.00	0.46	1.00	0.43	
7	1.00	0.39	1.00	0.35	
8	1.00	0.34	1.00	0.29	
9	1.00	0.02	1.00	0.01	
10	0.57	0.00	0.61	0.00	
11	0.23	0.00	0.30	0.00	
12	0.14	0.00	0.22	0.00	
Rok	0.69		0.73		

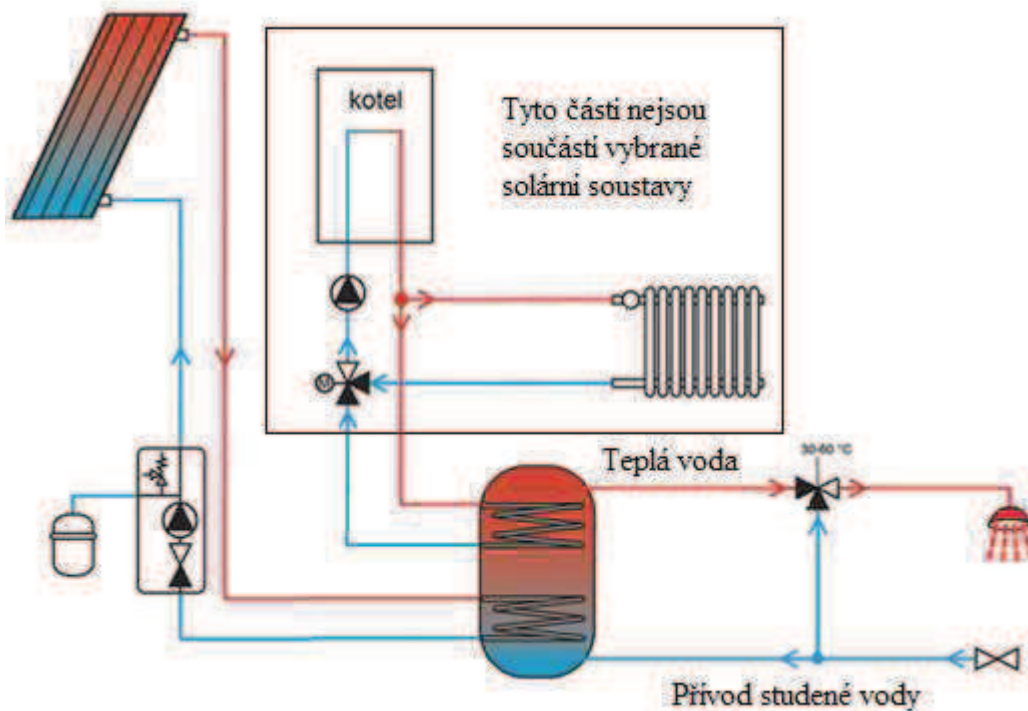


Graf č. 5.1 – Porovnání energie potřebné vs. vyrobené vybranými kolektory

Z předchozí tabulky a grafu jsou patrné pouze malé rozdíly mezi plochým a vakuovým trubicovým kolektorem, pomocí kterého by solární systém pokryl jen o 4% více potřebné energie. Také jeho profil výroby tepla v jednotlivých měsících je vhodnější, kdy v zimě produkuje více energie a naopak v létě méně energie než plochý kolektor. Podstatně vyšší cena trubicového kolektoru však tyto plusové body mění v nepodstatné.

- **Sestavení celého termického solárního systému pro ohřev TUV**

Jelikož u tohoto typu instalace je aktuálně možnost získat dotace v programu Ministerstva životního prostředí Nová zelená úsporám, zvolil jsem jednoznačně variantu kompletní dodávky solárního systému od tuzemské firmy Regulus, s.r.o., která obsahuje i potřebnou dokumentaci k žádosti o dotaci. Shodou okolností se jedná o variantu s 2 kusy dříve vybraných plochých kolektorů KPS11 +. Celková cena této soustavy činí **87 499,- Kč** (včetně 15% DPH).



Obr. č. 5.1 – Schéma termické solární soustavy pro ohřev TUV

5.2.2 FVE pro ohřev TUV

Pro návrh fotovoltaického systému na ohřev teplé vody se bude opět vycházet ze stejné hodnoty potřebné energie pro přípravu TUV ($Q_{p, \text{den}}=9,55\text{kWh}$), kterou je potřeba pokrýt pomocí FV panelů. Jelikož v [28] se uvádí, že optimalizovaná FVE bez MPPT dosahuje v našich podmínkách maximálně 77% energie v porovnání se systémem využívající sledovač MPP, bude instalace MPP tracker obsahovat. Dle rovnic (2.1 a 2.2) vypočítám pro

jednotlivé hodnoty slunečního ozáření G hodnoty U_{MPP} a I_{MPP} , z jejichž součinu budou následně určeny hodnoty P_{MPP} . Výroba FVE bude určena dle hodnot slunečního ozáření typické pro jednotlivé měsíce a pro určenou lokalitu a danou osluněnou plochu [10], kde jsou hodnoty G uváděny po 15 minutách. Pro jakékoli určení výroby elektrické energie z FV zdroje je vhodné definovat a vybrat konkrétní FV modul. Po průzkumu trhu na českých eshopech byl vybrán (polykrystalický) fotovoltaický panel LintechSolar LS200 Standard 245Wp, který je vyráběn v České republice v Klenčí pod Čerchovem (Plzeňský kraj). K prodeji dostupný na [33], kde jeho cena za jeden kus činí 3590,- Kč (bez DPH). Výběr tohoto modulu byl učiněn pro svou nízkou cenu, ale také kvůli tomu, že se vyrábí v našem kraji.

Tab. č. 5.3 - Charakteristické parametry zvoleného FV panelu pro výpočty dle (2.1 a 2.2)

FV panel LintechSolar LS200					STC	
P [W _p]	U _{mpp0} [V]	I _{mpp0} [A]	a _u [%/°C]	a _i [%/°C]	G _{STC} [W·m ⁻²]	t _{STC} [°C]
245	30.9	8.03	-0.35	0.05	1000	25

Po výběru FV modulu nastává výpočet počtu kusů pro danou instalaci. Pomocí excelovských tabulek jsem určil jako optimální počet 10 kusů. Opět zde hrálo roli ukazatel solárního krytí f spolu s nízkými letními přebytky. Dle [34] je vypočtená produkce FVE ponížena o (4+2)%.

Tab. č. 5.4 - Příklad výpočtu získané elektrické energie z FVE

Čas	G [W·m ⁻²]	t _d [°C]	U _{mpp0} [V]	I _{mpp0} [A]	P _{mpp} [W]	E [Wh]
8:07	15	-2.4	13.28	0.119	15.77	3.943
8:22	38	-2.3	17.83	0.301	53.65	13.41

$$U_{MPP} = 30.9 \cdot \frac{\ln(15)}{\ln(1000)} \cdot [1 + (-0.0035)(-2.4 - 25)] = 13.28V .$$

$$I_{MPP} = 8.03 \cdot \frac{\ln(15)}{\ln(1000)} \cdot [1 + 0.0005 \cdot (-2.4 - 25)] = 0.119A .$$

Při sériové spojení 10 FV modulů je jejich výkon při daném ozáření a teplotě:

$$P_{MPP} = 10 \cdot 13.28 \cdot 0.119 = 15.77W .$$

Jelikož jednotlivé hodnoty slunečního ozáření jdou po sobě po 15 minutách (0.25 hodiny), je výsledná energie:

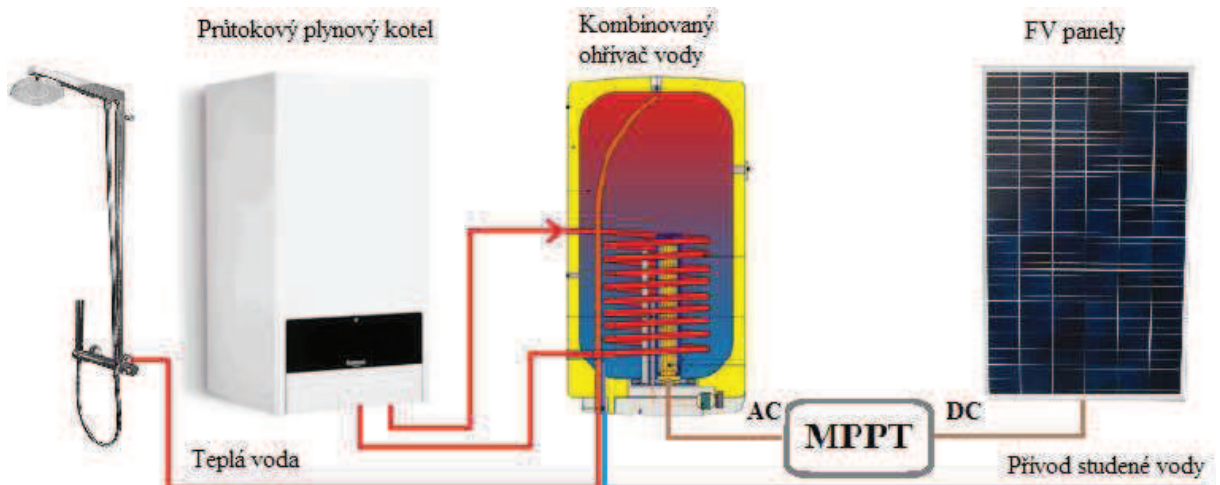
$$E = 15.77 \cdot 0.25 = 3.943Wh .$$

Tab. č. 5.5 – Solární pokrytí potřeby na ohřev TUV pomocí FVE

Měsíc	F	Přebytky (Q_s/Q_p-1)
1	0.22	0.00
2	0.46	0.00
3	0.75	0.00
4	1.00	0.12
5	1.00	0.12
6	1.00	0.14
7	1.00	0.05
8	1.00	0.02
9	0.81	0.00
10	0.51	0.00
11	0.26	0.00
12	0.21	0.00
Rok	0.69	

- **Sestavení celého fotovoltaického systému pro ohřev TUV**

Na následujícím obrázku je znázorněno schéma pro přípravu TUV pomocí fotovoltaických panelů, které jsou připojeny přes MPPT a měnič k topnému tělesu kombinovaného ohřivače [35]. MPPT sleduje vždy maximální možný výkon FVE, který přemění na střídavý modifikovaný sinus. Při dnech s nepříznivými klimatickými podmínkami se ohřev vody stará průtokový plynový kotel Buderus Logamax U052 - 24K kombi turbo, který přes výměník ohřívá vodu v zásobníku a měl by se také starat o vytápění objektu. Tento kotel jsem zvolit díky dobré zkušenosti z RD mých rodičů, kde obstarává ohřev vody a zároveň vytápění domu.



Obr. č. 5.2 – Schéma solární soustavy pro ohřev TUV pomocí FVE

Po sestavení celého solárního systému je třeba vyčíslit celkové náklady spojené s jeho realizací. Cena jednotlivých komponent vyplývá z jejich výše uvedených zdrojů a cenu za

montáž s kompletním materiálem jsem odhadl dle srovnání několika nabídek podobných realizací.

Tab. č. 5.5 – Vyčíslení nákladů na realizaci celého FV systému

	ks	Cena [Kč/MJ]	Cena (s 21% DPH) [Kč]
FV panely	10	3590	43439
MPPT	1	6603	7990
Bojler	1	9433	11414
Montáž komplet	1	15000	18150
Cena za celý systém			80993

5.3 FVE využívající Net - Metering

V této kapitole bych chtěl modelově nastínit, jak by podpora FVE u rodinných domů touto formou mohla být výhodná. Princip Net – Meteringu je popsán v kapitole 4.1.1. Pro následné hodnocení takového provozu je nezbytné definovat jeho podmínky. Bohužel jsem nikde nenašel přesné legislativní a smluvní podmínky ze zemí, kde NTM funguje. Podmínky si tedy nastavím modelově sám. Budu vycházet z jednotlivých složek dnes běžného vyúčtování za sdružené služby dodávky elektřiny největší české distribuční společnosti.

Při zavedení NTM by se provozovatelům distribučních soustav snížily jejich výtěžky za méně prodané elektrické energie a zároveň vznikaly náklady na „akumulaci“ přetékající energie do jejich soustav z FVE. Tudíž by provozovatel FVE měl nějakou formou tyto ztráty kompenzovat.

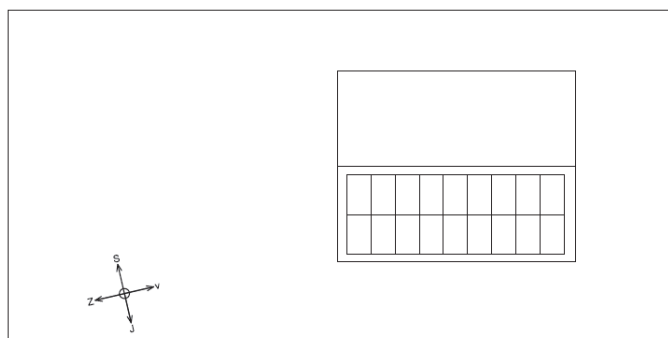
- **Návrh podmínek pro provoz FVE formou Net – Meteringu.**
 - Připojení pouze výkonu FVE do 6kW_p (nebo takového, který je přípustný v dané lokalitě).
 - Připojení FVE k distribuční soustavě by bylo zdarma.
 - Možnost využívat distribuční síť by byla zpoplatněna měsíční sazbou 70,- Kč.
 - Množství elektřiny, které by přeteklo do sítě, by se zpoplatnilo sazbou 1000,- Kč/1MWh.
 - Zároveň by provozovateli FVE byl odpuštěn poplatek na podporu výkupu z OZE.
 - Rozhodné období pro vyúčtování by byl jeden rok (od data uvedení do provozu).
 - DPH by se odváděla až při vyúčtování.

5.3.1 Dimenzování FVE

Smyslem NTM je pomocí FVE vyrobit tolik elektřiny, kolik její provozovatel sám spotřebuje za rozhodné období ve svém objektu. Protože to, co nespotřebuje, propadne bez jakýchkoli nároků provozovateli distribuční soustavy. Tudíž je důležité FVE citlivě nadimenzovat. Bude-li FVE instalována na stávající objekt, je dle předchozích vyúčtování lehké odhadnout, v jakých mezích se bude budoucí spotřeba pohybovat. Přičemž je vhodné se držet spíše spodní hranice.

Jelikož navrhuji FVE pro modelový fiktivní dům, budu vycházet z hodnot spotřeby elektřiny rodinného domu mých rodičů. Kde při stálém obsazení 2 osob je spotřeba elektrické energie za poslední tři roky 2,505; 2,725 a 2,527MWh. Vezmu-li v potaz počet osob, charakter používaných spotřebičů a budoucí uvažovaný objekt, kde se elektřina nebude využívat na vytápění, ohřev TUV ani z vaření (plyn) pouze k pečení, naopak bude kladen důraz na používání úsporných spotřebičů a úsporný životní standart obecně, určím **roční spotřebu elektrické energie** v modelovém RD na **4,5MWh**.

Opět bude počítáno se stejnými FV panely jako v kapitole 5.2.2. Zde se bohužel dostáváme do prostorového omezení střechy vybraného RD, kam se vejde pouze 18 panelů (2 řady po 9 sloupcích), jak je znázorněno na obr. č. FVE tedy bude mít špičkový výkon 4410Wp. K této hodnotě je třeba vybrat odpovídající napěťový měnič Fronius IG TL 5.0 dostupný na [36].



Obr.č. 5.3 – RD s FV panely na střeše

Při uvažovaných ztrátách celého FV systému 15% vyšla produkce FVE při 18 kusech modulu LintechSolar LS200 Standard 245Wp na 4,1MWh/rok.

Tab. č. 5.6 – Vyčíslení nákladů na realizaci celé FVE

	ks	Cena [Kč/MJ]	Cena (s 21% DPH) [Kč]
FV panely	18	3590	78190
Fronius IG TL 5.0	1	28 840	34896
Montáž komplet	1	25000	30250
Cena za celý systém			143337

6 HODNOCENÍ PŘEDCHOZÍCH ŘEŠENÍ

Jako energetické hodnocení solárních systémů považuji za nejvíce vypovídající podíl solárního krytí, který jsem u jednotlivých systémů uváděl již v předchozí kapitole. Ekonomickou stránku věci nejvíce vystihuje ukazatel reálné návratnosti.

- **Reálná návratnost**

Je označována jako doba τ_d , za kolik let se investované prostředky vrátí. Zohledňuje předpokládaný vývoj cen nahrazované energie a jiné možnosti investice peněžních prostředků (např. spořicí účet). Je dána z podmínky

$$\sum_{t=1}^{\tau_d} RU \frac{(1+p)^t}{(1+r)^t} = IN, \quad (6.1)$$

kde RU jsou roční úspora díky solárnímu systému [Kč/rok],

IN jsou celkové investiční náklady na solární systém [Kč],

p je růst cen energie,

r je diskontní míra,

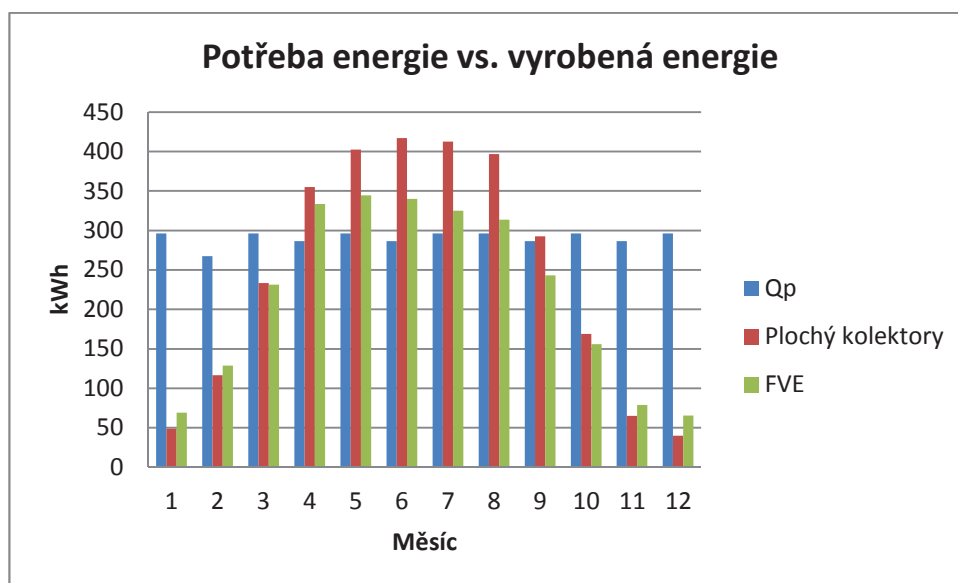
t je doba [rok] [1].

6.1 Příprava TUV

V následující tabulce a grafu je znázorněno srovnání mezi jednotlivými způsoby ohřevu teplé vody pomocí solární energie. Solární pokrytí vychází u obou systémů stejně. U fotovoltaického systému je však rovnoměrnější výroba během celého roku a menší přebytky v letním období. Ceny obou realizací jsou také velmi podobné. U termického solárního systému lze ještě zauvažovat snížení konečné ceny o dotaci z programu NZÚ až 35 tisíc Kč. Což by systém se solárními kolektory velice zvýhodnil.

Tab. č. 6.1 – Srovnání ohřevu TUV solárními kolektory a FVE

Měsíc	Plochý kolektory		FVE	
	f	Přebytky (Q_s/Q_p-1)	f	Přebytky (Q_s/Q_p-1)
1	0.16	0.00	0.22	0.00
2	0.44	0.00	0.46	0.00
3	0.79	0.00	0.75	0.00
4	1.00	0.24	1.00	0.12
5	1.00	0.36	1.00	0.12
6	1.00	0.46	1.00	0.14
7	1.00	0.39	1.00	0.05
8	1.00	0.34	1.00	0.02
9	1.00	0.02	0.81	0.00
10	0.57	0.00	0.51	0.00
11	0.23	0.00	0.26	0.00
12	0.14	0.00	0.21	0.00
Rok	0.69		0.69	
	Cena	87 499	Cena	80 993



Graf č. 6.1 – Srovnání ohřevu TUV solárními kolektory a FV panely

Oba solární systémy částečně nahrazují přípravu TUV v plynovém kotli. Cena zemního plynu je 1442,54,- Kč/MWh [37]. Jelikož plyn bude používán i na vytápění, nezapočítává se měsíční poplatek za přistavenou kapacitu.

Reálná návratnost se predikuje velmi obtížně. Závisí totiž na mnoha faktorech, které se mohou mnohdy razantně měnit oběma směry.

Tab. č. 6.2 – Výpočet návratnosti solárních systémů

		SOLÁRNÍ KOLEKTORY				FV OHŘEV				
		Rok	RU (rok)	suma RU	Výměna	ZISKY (Kč)	Rok	RU (rok)	suma RU	ZISKY (Kč)
plyn spotř (kč/kWh)	1.443	1	3649	3649		0	1	3608	3608	0
		2	3812	7461		0	2	3769	7377	0
RU (kWh/rok)	2421	3	3983	11445		0	3	3938	11315	0
RU (Kč/rok)	3492	4	4161	15606		0	4	4114	15430	0
		5	4348	19954		0	5	4299	19729	0
p(růst En) (%)	5	6	4542	21496	K	0	6	4491	24220	0
r(diskont) (%)	0.5	7	4746	26242		0	7	4692	28912	0
dotace	A	8	4958	31200		0	8	4902	33814	0
IN (Kč)	52499	9	5180	36381		0	9	5122	38936	0
		10	5412	41793		0	10	5351	44288	0
		11	5655	47448		0	11	5591	49878	0
TUV		12	5908	38356	Č, K	0	12	5841	55720	0
FT		13	6172	44528		0	13	6103	61822	0
RU (kWh/rok)	2421	14	6449	50977		0	14	6376	68198	0
IN (Kč)	87499	15	6738	57714		5215	15	6661	74860	0
čerpadlo Č	12000	16	7039	64754		12255	16	6960	81820	827
kapalina K	3000	17	7354	72108		19609	17	7271	89091	8098
dotace	35000	18	7684	76792	K	24293	18	7597	96688	15695
		19	8028	84820		32321	19	7937	104625	23632
FV		20	8387	93207		40708	20	8293	112918	31925
RU (kWh/rok)	2394	21	8763	101970		49471	21	8664	121581	40588
RU (Kč/rok)	3453	22	9155	111125		58626	22	9052	130633	49640
IN	80993									

V předchozí tabulce je znázorněn výpočet návratnosti obou zmiňovaných solárních systémů na ohřev TUV. Bylo počítáno s meziročním růstem nahrazované energie (plynu) 5% a diskontní sazbou 0,5%. U termického systému je počítáno s přidělením dotace 35000,-Kč, dále je započítána výměna teplotnosné kapaliny po 6 letech (á 3000,-Kč) a po 12 letech oběhového čerpadla 12000,-Kč. Za těchto podmínek by se investice do termického systému měla vrátit za 15 let. U fotovoltaického systému vychází návratnost po 16 letech provozu.

V příloze na CD je nahrán excelovský soubor DP_6.xlsx (list TUV), pomocí kterého se mohou jednotlivé parametry výpočtu měnit.

6.2 Hodnocení FVE

Pro navrhnutou FVE provozovanou formou Net – Meteringu za definovaných podmínek (viz. dříve) obsahuje opět příložený soubor DP_6.xlsx (list FVE_NTM) výpočet návratnosti investice.

Tab. č. 6.3 – Výpočet návratnosti FVE

FVE NTM			
Rok	RU (Kč/rok)	RU celkem (kč)	Zisky (Kč)
1	9996	9996	0
2	10444	20440	0
3	10912	31352	0
4	11400	42752	0
5	11911	54662	0
6	12444	67106	0
7	13001	80107	0
8	13583	93691	0
9	14191	107882	0
10	14827	122709	0
11	15491	138200	0
12	16184	154384	11047
13	16909	171293	27956
14	17666	188959	45622
15	18457	207416	64079
16	19284	226700	83363
17	20147	246847	103510
18	21049	267896	124559
19	21992	289888	146551
20	22976	312864	169527
21	24005	336869	193532
22	25080	361949	218612

V tomto případě je výsledek poněkud optimističtější. Instalace by se měla vrátit sice za 12 let, ale poté by měla produkovat nemalé zisky.

7 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo popsat, sestavit a následně vyhodnotit různé alternativy využití sluneční energie aplikovatelných na modelový rodinný dům.

Nejprve bylo popsáno sluneční záření jako takové, pomocí jakých vztahů lze odvodit potenciálně využitou solární energii jak pomocí solárních kolektorů, tak díky fotovoltaickým modulům. Zajímavé je srovnání ohřevu teplé užitkové vody klasickým způsobem pomocí termických solárních kolektorů a nově nastupujícím fotovoltaickým ohřevem. Oba dva způsoby získání TUV vychází z energetického hlediska velice podobně. Při velmi podobné ceně realizace se faktor solárního krytí pohybuje na hranici 70%. Tudíž i jejich ekonomické hledisko v podobě reálné návratnosti investice mezi oběma principy nedělá přílišný rozdíl. Ale i zde se najdou faktory, které mohou ony misky vah přesunout na tu či onu stranu. Při realizaci termického solárního systému lze reálně doufat v dotaci z programu Nová zelená úsporám. Finanční prostředky a čas pro podání žádostí je však velmi omezen. Další výhodou oproti fotovoltaickému ohřevu je cca 4x menší velikost osluněné plochy. Varianta FV ohřevu teplé vody má výhod také dosti. Celková instalace obsahuje mnohem méně jednotlivých komponent. Obrovský rozdíl je v cestě energie ze střechy k vodě. Z FV modulů vedou jen kabely, kdežto termický solární okruh obsahuje potrubí a celkově o mnoho více prvků, které je také mj. třeba čas od času vyměnit (teplonosná kapalina, čerpadlo). Další výhodou fotovoltaiky vidím v její variabilitě. Nebude-li soustava plnit očekávání, lze ji snadněji demontovat a využít třeba panely jinak.

Další zkoumanou variantou solárního systému byl provoz FVE v režimu Net – Meteringu. Sice tato metoda u nás aktuálně není využívána, ale pevně věřím, že tomu tak není na dlouho. Základem je, aby výroba z FVE byla rovna nebo menší než spotřeba elektrické energie daného objektu. V práci jsem navrhl podmínky, za kterých by NTM byl výhodný pro všechny zúčastněné strany. Návratnost zde činila 12 let a poté instalace generoval nemalé zisky.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] MATUŠKA, Tomáš. *Solární zařízení v příkladech*. Praha: GRADA, 2013. ISBN 978-80-247-3525-2.
- [2] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. 1. vyd. Praha: T. Malina, 1994, 203 s. ISBN 80-900-7595-9
- [3] ULČ, Petr. *Návrh solární techniky pro rodinný dům*. Plzeň, 2011. Bakalářská práce (Bc.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Milan Bělík.
- [4] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 296 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3
- [5] QUASCHNING, Volker. *Understanding renewable energy systems*. Sterling, VA: Earthscan, 2005, xix, 272 p. ISBN 18-440-7136-7.
- [6] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2011, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [7] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie*. 1. vyd. Praha: ILSA, 2009, 160 s. ISBN 978-80-904311-0-2.

Internetové zdroje

- [8] BĚLÍK, Milan.: *Podklady k výuce předmětu KEE/SOES*, FEL ZČU Plzeň, dostupné z <<http://home.zcu.cz/~belik4/soes/>>, [online]. [citováno 20.1.2014].
- [9] MATUŠKA, Tomáš. *Alternativní zdroje energie (učební texty)*. Fakulta strojní, ČVUT Praha, dostupná z <http://users.fs.cvut.cz/~matustom/skripta_AZE_FS.pdf>, [online]. [citováno 20.1.2014].
- [10] PVGIS. [online]. [citováno 22.2.2014]. Dostupné z <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>>
- [11] Dostupné z <<http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>>, [online]. [citováno 26.3.2014].
- [12] Dostupné z <<http://www.cne.cz/seniori/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>>, [online]. [citováno 21.3.2014].
- [13] Dostupné z <<http://eshop.solartec.cz/import/68.pdf>>, [online]. [citováno 24.3.2014].
- [14] Dostupné z <<http://pdf.wholesalesolar.com/module%20pdf%20folder/KC130TM.pdf>>, [online]. [citováno 17.3.2014].
- [15] Dostupné z <http://www.icmvolyne.cz/eshop/index.php?main_page=popup_image&pID=555>, [online]. [citováno 18.3.2014].

- [16] Dostupné z <<http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm> - 18.3.2014
- [17] Dostupné z <<http://www.sbirka.cz/POSL4TYD/NOVE/13-310.htm>
- [18] Zilvar, Jiří. *Jak funguje net metering* [online]. Dostupné z <<http://oze.tzb-info.cz/9862-jak-funguje-net-metering>>, [citováno 26.3.2014].
- [19] Dostupné z <<http://www.solarenavi.cz/slunecni-elektrarny/typy-instalaci/off-grid-ostrovni-system/>>, [online]. [31.3.2014]
- [20] Dostupné z <<http://www.solarenavi.cz/slunecni-elektrarny/typy-instalaci/hybridni-grid-free-ostrovni-elektrarny/>>, [online]. [31.3.2014]
- [21] Dostupné z <<http://www.solarenavi.cz/slunecni-elektrarny/typy-instalaci/fve-pripojena-na-sit/>> [online]. [31.3.2014]
- [22] TOŠER, Pavel. *Náklady na akumulaci elektřiny v sekundárních člancích*. Dostupné z <<http://oze.tzb-info.cz/10362-naklady-na-akumulaci-elekriny-v-sekundarnich-clancich>>, [online]. [31.3.2014]
- [23] Dostupné z <<http://www.fg-forte.cz/cz/kategorie/lithiove--lithium-ion-baterie.aspx>>, [online]. [2.4.2014]
- [24] Dostupné z <<http://www.solarnimoduly.cz/jaky-solarni-regulator.html>>, [online]. [2.4.2014]
- [25] Czech RE agency, *Fotovoltaický střídač - účinnost není vše*
Důležitější je maximální výnos energie. Dostupné z <<http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5571-fotovoltaicky-stridac-ucinnost-neni-vse>>, [online]. [16.4.2014]
- [26] Dostupné z <<http://www.solarserver.com/service/pvx-spot-market-price-index-solar-pv-modules.html>>, [online]. [16.4.2014]
- [27] SolárníNovinky.cz, *Aktualizováno: Profesionální řešení fotovoltaického ohřevu vody s MPP trackere*. Dostupné z <<http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2014011004/aktualizovano-profesionani-reseni-fotovoltaickeho-ohreву-vody-s-mpp-trackerem>>, [online]. [25.4.2014]
- [28] Wolf, Petr, Benda Vítězslav, *Optimalizace fotovoltaického systému pro přípravu teplé vody*. FEL, ČVUT, Praha. Dostupné z <<http://elektro.tzb-info.cz/teorie-elektrotechnika/10697-optimalizace-fotovoltaickeho-systemu-pro-pripravu-teple-vody>>, [online]. [25.4.2014]
- [29] Dostupné z <<http://www.gservis.cz/projekty-rodinnych-domu/gspasiv7.html>>, [online]. [25.4.2014]

- [online]. [16.4.2014]
- [30] ČSN EN 15316-3-1 Tepelné soustavy v budovách - Výpočtová metoda pro stanovení energetických potřeb a účinností soustavy - Část 3-1: Soustavy teplé vody, charakteristiky potřeb (požadavky na odběr vody).
- [31] Dostupné z <http://www.vscht.cz/uchi/e_tabulky/> [online]. [28.4.2014]
- [32] Dostupné z <<http://www.regulus.cz/cz/solarni-systemy/>>, [online]. [28.4.2014]
- [33] Dostupné z <<http://www.greenczech.cz/produkty/fotovoltaiicke-panely/>>, [online]. [28.4.2014]
- [34] Dostupné z <http://www.ostrovni-elektrarny.cz/index.php?category=fv-ohrev-vody&detail=NzkwMDEw&detail_name=mppt-tracker-menic-2kw>, [online]. [9.5.2014]
- [35] Dostupné z <<http://www.dzd.cz/cs/ohrivace-vody-bojlery/kombinovane-ohrivace-vody/zavesne-svisle#okc160>>, [online]. [9.5.2014]
- [36] Dostupné z <<http://eshop.terms.eu/cz/e-shop/965098/c69147-fronius/fronius-ig-tl-50.html>>, [online]. [10.5.2014]
- [37] Dostupné z <http://www.rwe.cz/cs/media/ceny-zp-2014/RWEE_cenik_ZP_A4_Standard_CB_010114.pdf?jis=20140430103614>, [online]. [10.5.2014]