

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta elektrotechnická**

**Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Instalace fotovoltaických panelů na bytové domy**

**Mikuláš KOMÁREK**

**2019**

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd



Bakalářská práce

**Instalace fotovoltaických panelů na bytové domy**  
**Installing photovoltaic panels on blocks of flats**

**Mikuláš Komárek**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Studijní obor: Elektrotechnika management  
Vedoucí práce: Vít Klein, Ph.D.

květen 2019 ČVUT v Praze

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Komárek** Jméno: **Mikuláš** Osobní číslo: **457011**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Studijní obor: **Elektrotechnika a management**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Instalace fotovoltaických panelů na bytové domy**

Název bakalářské práce anglicky:

**Installing photovoltaic panels on blocks of flats**

Pokyny pro vypracování:

1. Seznámení s fungováním fotovoltaického panelu.
2. Vyhodnocení nejlepšího místa pro instalaci fotovoltaických panelů.
3. Projektování výstavby fotovoltaických panelů.
4. Zhodnocení instalaci fotovoltaických panelů po ekonomické stránce.

Seznam doporučené literatury:

1. HASELHUHN, Ralf. Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
2. KLOZ, Martin. Využívání obnovitelných zdrojů energie: právní předpisy s komentářem. Praha: Linde, 2007. ISBN 978-80-7201-670-9.
3. LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. Praha: Ilsa, 2009. ISBN 978-80-904311-0-2.
4. STANĚK, Kamil. Fotovoltaika pro budovy. Praha: Grada pro Katedru konstrukcí pozemních staveb Fakulty stavební Českého vysokého učení technického v Praze, 2012. ISBN 978-80-247-4278-6.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D., katedra elektroenergetiky FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **14.01.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24.05.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2020**

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Řípka, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 17. 5. 2019

Mikuláš Komárek

## **Poděkování**

Děkuji tímto vedoucímu mé bakalářské práce, panu Vítu Kleinovi, Ph.D., nejenom za odborné vedení během psaní této práce, ale také poskytnutích cenných rad do života.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce pojednává o instalaci fotovoltaických panelů na bytové domy. Práce nejdříve vysvětluje fungování fotovoltaických panelů a s jakými typy FV panelů se lze setkat. Dále se práce věnuje aktuálnímu a budoucímu stavu využití fotovoltaiky v České republice. Další část rozebírá konkrétní možnosti umístění FV panelů na bytové domy. Hlavní část práce je zaměřena na modelový projekt týkající se výstavby FV panelů na střechu bytového domu a následné ekonomické zhodnocení tohoto projektu. V poslední části je tento modelový projekt rozšířen na celé území hlavního města Prahy a zjištěn potenciál tohoto území.

## **Klíčová slova**

Fotovoltaika, obnovitelné zdroje energie, fotovoltaické panely, výstavba fotovoltaické elektrárny, bytové domy, potenciál fotovoltaiky v Praze

## **Abstract**

The bachelor thesis deals with the installation of photovoltaic panels on blocks of flats. The work first explains the function of photovoltaic panels and what types of PV modules can be encountered. Furthermore, the thesis deals with the current and future state of photovoltaics in the Czech Republic. The next part analyses the specific possibilities of placing PV panels on apartment buildings. The main part of the thesis is focused on a model project concerning the construction of PV panels on the roof of a residential building and the subsequent economic evaluation of this project. In the last part, this model project is extended to the whole territory of the capital city of Prague and the potential of this area is identified.

## **Keywords**

Photovoltaics, renewable energy sources, photovoltaic panels, construction of photovoltaic power plants, blocks of flats, the potential of photovoltaics in Prague

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Fotovoltaika .....</b>	<b>2</b>
2.1	Polovodiče.....	2
2.2	Fotovoltaický článek .....	3
2.3	Dopadající sluneční energie .....	4
2.4	Typy fotovoltaických článků.....	5
2.4.1	Monokrystalické články.....	6
2.4.2	Polykrystalické články .....	7
2.4.3	Polykrystalické pásové křemíkové články.....	7
2.4.4	Tenkvrstvé články.....	8
2.4.4.1	Amorfní křemíkové články (a-Si).....	8
2.4.4.2	Články CIS (dvojselenid měď-indium) .....	9
2.4.4.3	Články CdTe (telurid kademnatý) .....	9
2.4.5	Vícevrstvé a koncentrátorové články.....	9
2.5	Fotovoltaické panely .....	10
<b>3</b>	<b>Zákon o podporovaných zdrojích energie .....</b>	<b>15</b>
3.1	Úvod.....	15
3.2	Národní akční plán .....	15
3.2.1	Průběžné výsledky .....	16
3.3	Budoucnost.....	18
<b>4</b>	<b>Místo umístění FV panelu na budovu.....</b>	<b>19</b>
4.1	Úvod.....	19
4.2	Střecha.....	19
4.2.1	Uchycení .....	20
4.2.2	Pohyblivý stojan .....	20
4.3	Fasáda.....	21

4.4	Zastínění proti Slunci .....	22
4.5	Závěr .....	23
<b>5</b>	<b>Projekt – bytový dům .....</b>	<b>24</b>
5.1	Úvod.....	24
5.2	Základní informace .....	24
5.3	Uložení energie .....	25
5.3.1	Virtuální baterie .....	26
5.4	Komponenty FVE .....	27
5.4.1	FV panel.....	27
5.4.2	Střídač .....	29
5.4.2.1	Rozložení .....	30
5.4.3	Ostatní komponenty FVE .....	31
5.4.3.1	Konstrukce FV panelů .....	32
5.4.4	Práce a další služby.....	32
5.5	Podpora – Nová zelená úsporám.....	32
5.6	Celkové náklady FVE .....	33
5.6.1	Hodnocení nákladů .....	34
5.7	Výstupní zpráva ze SW Polysun.....	35
5.7.1	Hodnocení zprávy .....	42
5.8	Fotovoltaický geografický informační systém – PVGIS .....	44
5.9	Ekonomika projektu .....	45
5.9.1	Prostá doba návratnosti.....	46
5.9.2	Reálná doba návratnosti.....	52
5.9.3	Čistá současná hodnota.....	53
5.9.4	Vnitřní výnosové procento.....	53
5.9.5	SWOT analýza.....	54
5.9.6	Zhodnocení ekonomických ukazatelů projektu .....	55



5.10	Závěr .....	55
<b>6</b>	<b>Možnost výstavby FVE v Praze .....</b>	<b>57</b>
6.1	Úvod .....	57
6.2	Golemio – zelené střechy .....	57
6.2.1	Potenciál instalace FVE v hlavním městě .....	59
6.3	Zhodnocení možnosti výstavby FVE v Praze .....	61
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>62</b>
<b>8</b>	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>64</b>
8.1	Tištěné prameny .....	64
8.2	Elektronické a internetové prameny .....	65

## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Od křemíkové destičky k FV generátoru .....	2
Obrázek 2 – Energetické pásy, donorové a akceptorové hladiny v polovodičích .....	3
Obrázek 3 – Konstrukce a přeměna energie v krystalickém křemíkovém solárním článku.....	4
Obrázek 4 – Tok energie v solárním článku .....	5
Obrázek 5 – Monokrystalické články různé tvary a velikosti (zdroj: volně dle pozn. 3) .....	7
Obrázek 6 – Sluneční spektrum a spektrální citlivost solárních článků .....	10
Obrázek 7 – FV panel .....	10
Obrázek 8 – Vliv teploty na výkon FV článku .....	12
Obrázek 9 – Možnosti instalace FV na budovy .....	19
Obrázek 10 – Globální sluneční energie a potenciál využití solární energie v ČR ...	23
Obrázek 11 – Bytový dům .....	24
Obrázek 12 – Spotřeba a výroba elektřiny během dne .....	25
Obrázek 13 – FV zařízení s centrálním střídačem .....	30
Obrázek 14 – Golemio – potenciál zelených střech .....	58

## Seznam tabulek

Tabulka 1 – Přehled druhů FV článků .....	6
Tabulka 2 – Elektrické parametry FV panelu GCL – M6/6 300Wp .....	28
Tabulka 3 – Mechanické parametry FV panelu GCL – M6/6 300Wp .....	28
Tabulka 4 – Parametry střídače GoodWe GW50K-MT G2 .....	31
Tabulka 5 – Celkové náklady na FV instalaci .....	33
Tabulka 6 – Výsledky FV instalace .....	42
Tabulka 7 – Prostá doba návratnosti investice.....	47
Tabulka 8 – Prostá doba návratnosti investice bez dotace (graficky).....	48
Tabulka 9 – Prostá doba návratnosti investice s dotací (graficky) .....	50
Tabulka 10 – Reálná doba návratnosti.....	52
Tabulka 11 – Čistá současná hodnota.....	53
Tabulka 12 – vnitřní výnosové procento .....	54
Tabulka 13 – Potenciál FV v Praze .....	60

## Seznam grafů

Graf 1 – Vývoj účinnosti různých typů FV článků.....	14
Graf 2 – Vývoj hrubé výroby elektřiny z OZE.....	17
Graf 3 - Vývoj výroby elektřiny a instalovaný výkon FV elektráren.....	18
Graf 4 – Rozložení jednotlivých nákladů na FV instalaci .....	34
Graf 5 – Produkce elektřiny FV instalace podle Polysunu .....	43
Graf 6 – Produkce elektřiny FV instalace podle classic PVGIS.....	44
Graf 7 – Produkce elektřiny FV instalace podle CM-SAF PVGIS .....	45

## Seznam zkratk

AC – Alternating current (střídavý proud)
CF – Cash flow (peněžní tok)
CIS – Copper-Indium-diSelenid (dvojselenid mědi-india)
CM-SAF – Climate Monitoring – Satellite Application Facility (Monitorování klimatu – aplikování satelitního zařízení)
ČR – Česká republika
DC – Direct current (stejnoseměrný proud)
DPH – Daň z přidané hodnoty
ERÚ – Energetický regulační úřad
EU – Evropská Unie
EUROSTAT – Statistical Office of the European Communities (Statistický úřad evropských společenství)
FF – Fill factor (faktor plnění)
FV – Fotovoltaika, fotovoltaické
FVE – Fotovoltaická elektrárna
hl. m. – hlavní město
IN – investiční výdaje
IPR – Institut plánování a rozvoje
IRR – Internal rate of return (vnitřní výnosové procento)
KN – Katastr nemovitostí
MČ – Městská část

MPP – Maximum power point (bod největšího výkonu)  
MPPT – Maximum power point tracking (sledovač bodu maximálního výkonu)  
NAP – Národní akční plán  
NOCT – Nominal Operating Cell Temperatur (Teplota článku za nominálních provozních podmínek)  
NPV – net present value (čistá současná hodnota)  
NZÚ – Nová zelenám úsporám  
oc – open circuit (obvod naprázdno)  
OZE – Obnovitelné zdroje energie  
PČR – Parlament České republiky  
POZE – Podporované zdroje energie  
PVGIS – Photovoltaic Geographical Information Systém (Fotovoltaický geografický informační systém)  
sc – short circuit (zkratovaný obvod)  
STC – Standard Test Condition (Standardní testovací podmínky)  
SWOT – Strenghts (silné stránky), Weaknesses (slabé stránky), Opportunities (příležitosti), Threats (hrozby)  
TCO – Transparent Conductive Oxide (transparentní vodivý oxid)

# 1 Úvod

Tato bakalářská práce se dá rozdělit na dvě stěžejní části. První část, teoretická, obsahuje především úvod do problematiky „Instalace fotovoltaických panelů na bytové domy“, konkrétně se jedná o řešení fotovoltaických panelů, dále se práce věnuje legislativě podporovaných zdrojů energie a probrání různých možností umístění FV instalací na budovy. Ve druhé části, praktické, se zaměřuji na konkrétní případy instalace FV panelů. Konkrétně se jedná o projekt instalace FV panelů na bytový dům a následně zkoumám využitelnost střech bytových domů hl. m. Prahy pro výstavbu FVE.

Jeden z důvodů, proč jsem si vybral toto téma bakalářské práce je, že nastává trend v omezování neobnovitelných zdrojů energie, například ukončování provozu uhelných elektráren. Mezi členskými státy EU došlo k dohodě v energo-klimatických plánech ke zvýšení podpory obnovitelných zdrojů. V roce 2030 by podle dohody měl podíl OZE na hrubé spotřebě energie v Evropské unii činit 32 %. Pro Česko to znamená zvýšení takzvané zelené energie v tuzemské spotřebě z hodnoty 13 % dosažené v roce 2017 na 22,5 % v roce 2030.<sup>12</sup>

Česká republika je limitována možnostmi využití obnovitelných zdrojů. Nejsou zde takové povětrnostní podmínky jako v Severním moři nebo možnost využití geotermální energie jako na Islandu. Výstavba nových vodních elektráren v dohledné době není v Česku plánovaná. Biomasa je v poslední době velmi často skloňovaný termín a také podporovaný obnovitelný zdroj, uvidíme, jaký bude jeho vývoj v následujících letech. Poslední možností z množiny obnovitelných zdrojů je tedy sluneční energie. Nejsem zastánce výstavby velkých FVE na pole nebo louky, kde kazí přirozený ráz krajiny. Přikláním se k možnosti instalace FV panelů na domy, velká města k tomuto kroku přímo vybízejí.

---

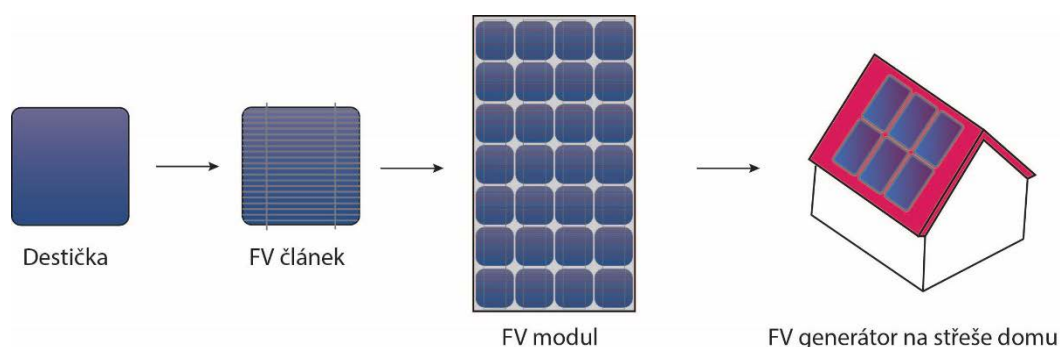
<sup>1</sup> *Energie z obnovitelných zdrojů* [online]. cez.cz, 2018 [cit. 2018-12-23]. Dostupné z:

<https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/obnovitelne-zdroje.html>

<sup>2</sup> *Podíl OZE v ČR se musí zvýšit na 22,5 %, aby byl dosažen celoevropský cíl do roku 2030* [online]. Oenergetice.cz, 2018 [cit. 2018-12-23]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrarny-cr/podil-oze-v-cr-se-musi-zvysit-na-225-aby-byl-dosazen-celoevropsky-cil-do-roku-2030/>

## 2 Fotovoltaika

Fotovoltaický (FV) jev je přímá přeměna světla na elektrickou energii. Název fotovoltaika (photovoltaics) je odvozen z „photo“ řecky světlo + voltaika od jednotky elektrického napětí Volt. První zmínka o tomto jevu se datuje k roku 1839, za objevitele se považuje francouzský fyzik Alexander Bequerel. FV jev probíhající v solárně aktivních materiálech, je nehlukný a nejsou během přeměny spotřebovány žádné látky. Pro hlubší vysvětlení a pochopení tohoto jevu je potřeba si definovat pojmy jako polovodič.



Obrázek 1 – Od křemíkové destičky k FV generátoru<sup>3</sup>

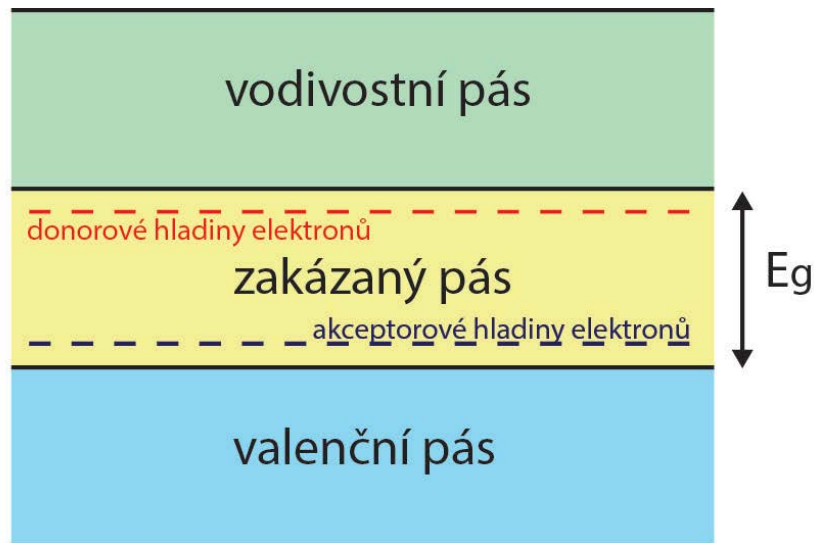
### 2.1 Polovodiče

Polovodič je pevná látka, jehož elektrická vodivost se nachází mezi vodivostí dielektrika (izolant) a kovu. Polovodiče můžeme dělit podle typu nosiče náboje na dva druhy, na vlastní (intrinsické) a příměsové. Příměsové polovodiče mohou být dopované typu N (majoritní nosiče náboje jsou elektrony), přídavný prvek se nazývá donor (dárce). Nebo typu P (majoritní nosiče náboje jsou díry, chovají se jako nosiče s kladným nábojem), zde se nazývá přídavný prvek akceptor (příjemce).

Díky uspořádání polovodiče, zde najdeme tři hladiny energie, tzv. pásy. Jedná se o valenční, zakázaný a vodivostní pás. Šířka elektrické vodivosti prvku závisí na šířce zakázaného pásu, pro izolanty je tato šířka největší, následuje polovodič a u vodičů tento pás chybí. Aby se stal polovodič elektricky vodivým je potřeba překročit zakázaný pás, dodat energii. Energie, která je nutná pro překonání zakázaného pásu neboli šířka zakázaného pásu je označována jako  $E_g$ , jednotky elektronvolt (eV). Hranice mezi vodičem a izolantem se udává orientačně šířkou zakázaného pásu na

<sup>3</sup> HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.

hodnotu  $E_g = 3 \text{ eV}$ , polovodič  $E_g < 3 \text{ eV}$ , izolant  $E_g > 3 \text{ eV}$ . Solární články se skládají z polovodičů, nejčastěji na bázi křemíku. Křemík má šířku zakázaného pásu zhruba  $E_g \sim 1,1 \text{ eV}$ .<sup>4</sup>



Obrázek 2 – Energetické pásy, donorové a akceptorové hladiny v polovodičích<sup>5</sup>

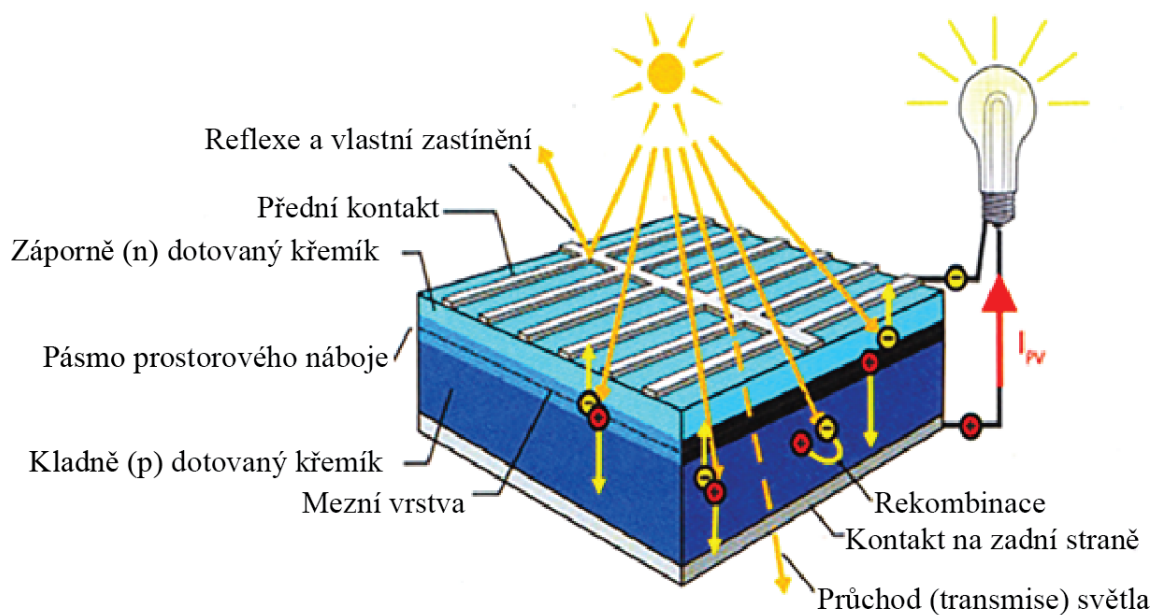
## 2.2 Fotovoltaický článek

Fotovoltaický (FV) článek je základní prvek fotovoltaického panelu. Po dopadu slunečního záření na solární článek dochází k FV jevu. Energie dopadajícího fotonu může uvolnit elektrony z jejich vazeb v atomové mřížce. Tyto elektrony (záporný náboj) se poté mohou volně pohybovat a na svém původním místě zanechávají díry (kladný náboj). Vnitřní elektrické pole FV článku způsobuje pohyb těchto nábojů na opačné strany. Záporné náboje putují k přední straně článku, kladné náboje k zadní straně článku. V důsledku vznikající opačné polarizace zde vzniká rozdíl potenciálů, který lze naměřit jako elektrické napětí. Hodnota tohoto napětí naprázdno u krystalických solárních článků leží v rozmezí 0,6 až 0,7 V. Po připojení žárovky, uzavření elektrického obvodu, teče přes spotřebič proud (obr. 2). Některé volné elektrony se sváží s atomem, kterému chybí vnější elektron, tím pádem nedosáhnou kontaktů a nepodílejí se na tvorbě elektrického proudu. Tento jev se nazývá rekombinace.

<sup>4</sup> LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Solární energie: fotovoltaika - perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti*. V Praze: ČZU, 2005. s. 31-40. ISBN 80-213-1335-8.

<sup>5</sup> Obrázek - energetické pásy. In: *Fyzika.jreichl.com* [online]. 2008 [cit. 2019-11-12]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/773-elektricke-vlastnosti-pevnych-latek>

Klasický krystalický FV článek se skládá ze dvou křemíkatých vrstev, každá z vrstev je jinak dotovaná. Strana ke Slunci je záporně dotovaná (typ N), prvkem obsahující pět valenčních elektronů například fosforem. Druhá strana je dotována kladně (typ P), prvkem jen se třemi valenčními elektrony, může se jednat například o bór. Na obou stranách solárního článku jsou umístěny kovové elektrody, aby mohl být z článku odebíráán proud. Zadní strana je obvykle řešena jako celoplošná elektroda. Kontaktní vrstva se na této straně tvoří pomocí hliníkové nebo stříbrné pasty. Naopak na přední straně, kvůli co největší propustnosti slunečního světla, jsou kontakty složeny z tenké mřížky. Nanášení mřížky se většinou provádí sítotiskem. Povrch FV článku je opatřen antireflexní vrstvou, díky tomu se co nejvíce fotonů absorbuje. Antireflexní vrstva dává šedým křemíkovým článkům jejich typickou černou barvu u monokrystalických článků, u polykrystalických článků je barva modrá.



Obrázek 3 – Konstrukce a přeměna energie v krystalickém křemíkovém solárním článku<sup>6</sup>

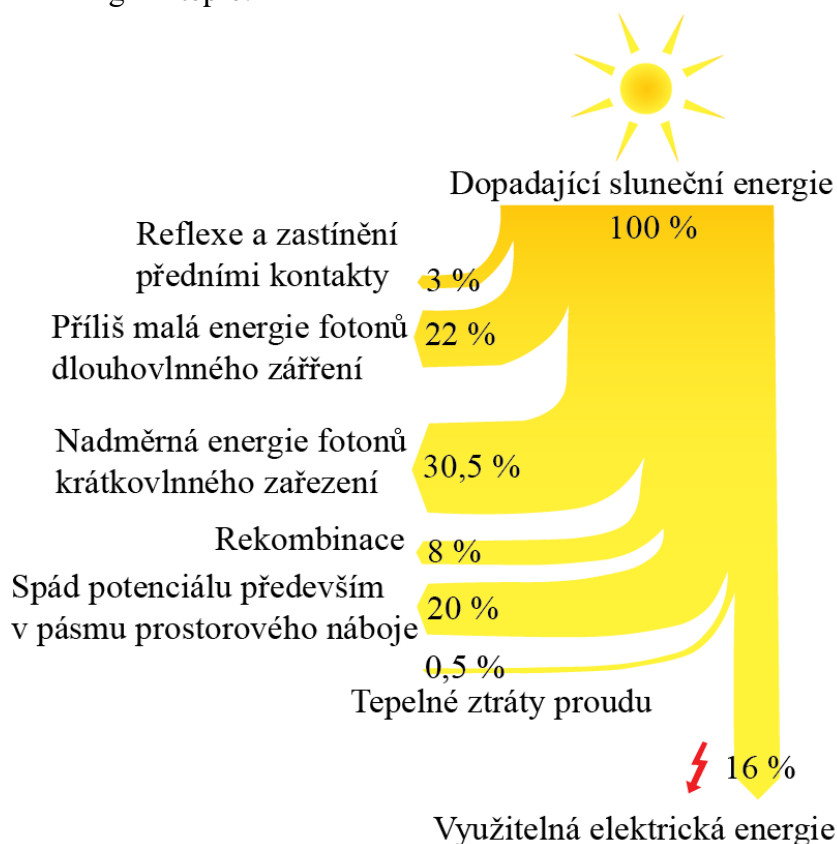
## 2.3 Dopadající sluneční energie

Využitelnost dopadající sluneční energie se pohybuje pouze okolo 16 %. Solární články umí pracovat jen s určitým spektrem slunečního záření. To znamená, že největší podíl energie, kterou prozatím neumíme využít je malá energie fotonů

<sup>6</sup> HASELHUHN, pozn. 3, s. 15.



dlouhovlnného a nadměrná energie fotonů krátkovlnného záření. Další ztráty musíme uvažovat kvůli spádu potenciálu, rekombinací, odrazu, zastíněním předních kontaktů a přeměnou energie v teplo.



Obrázek 4 – Tok energie v solárním článku<sup>7</sup>

## 2.4 Typy fotovoltaických článků

Na trhu se solárními články je z čeho vybírat, záleží na druhu aplikaci a samozřejmě na velikosti možné investice poptávajícího. Články se mohou lišit materiálem, tvarem, vlastnostmi a v neposlední řadě svým výkonem odvíjecím se od účinnosti. Osvědčený a nejvíce používaný materiál na výrobu FV panelů je křemík. Na trhu zabírají články na bázi krystalického křemíku okolo 90 %. Křemík je po kyslíku druhý nejrozšířenější prvek na Zemi, je proto dostupný a cenově přijatelný, navíc není jedovatý a má za sebou roky důkladného zkoumání. V přírodě se nevyskytuje v čisté formě, nejčastěji ho můžeme najít ve formě křemene neboli oxidu křemičitého ( $\text{SiO}_2$ ). Drobná zrna křemene tvoří křemenný písek, roztavením křemenného písku získáme surový křemen, který je dále chemicky čištěn až k dosažení

<sup>7</sup> HASELHUHN, pozn. 3, s. 15

čistého křemíku. Křemík lze různými způsoby zpracovat na monokrystalické nebo polykrystalické FV články.<sup>8</sup>

*Tabulka 1 – Přehled druhů FV článků*

### **Přehled FV článků**

	<b>Účinnost</b>
<b>Monokrystalické křemíkové</b>	17 %
<b>Polykrystalické křemíkové</b>	16 %
<b>Polykrystalické pásové křemíkové</b>	15 %
<b>Tenkovrstvé</b>	6–10 %
<b>Vícevrstvé a koncentrátorové články</b>	40 %

#### **2.4.1 Monokrystalické články**

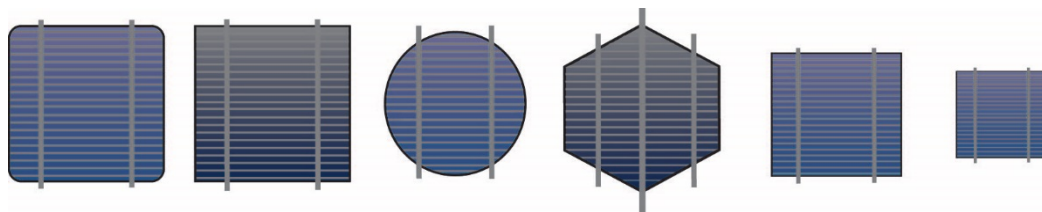
Jak již název napovídá, jedná se o článek, který se skládá z jediného krystalu křemíku. Články jsou různých tvarů, nejčastěji se setkáváme se čtvercovými nebo čtvercovými se zaoblenými rohy. Velikost se udává v palcích, jedná se o rozměry 4,5 až 6 palců (10, 12,5 a 15 cm). Samozřejmě jde hlavně o co největší využití plochy, podle toho se volí tvar a velikost. Jelikož se články řezou z kulatých tyčí spotřeba materiálu u oblých článku je mnohem menší než u čtvercových. Povrch krystalu je zbarven do tmavomodré až černé, účinnost článků se pohybuje okolo 17 %.<sup>9</sup>

Monokrystalický křemík se převážně vyrábí Czochralskiho metodou. Jedná se o proces, kdy se pomocí ponořeného zárodku krystalu z vysoce čisté taveniny křemíku pomalým otáčením vytahuje kulatá monokrystalická tyč. Tato tyč může mít i několik metrů a průměr i 30 cm. Tyč se poté přiřízne na čtvercový průřez a následně dále upravuje podle potřeby finálního tvaru, poté se z ní odřezávají destičky o tloušťce 0,3 mm. Velikost odpadu při řezání se proto velmi odvíjí od tvaru destiček. Na destičky, které jsou již dotovány příměsí typu P se napaří tenká vrstva dotována difuzí fosforu. Vzniká tak tedy vrstva záporně dotovaného křemíku, typ N. Poté se na článek umístí zadní kontaktní vrstva a kontaktní palce, po nanesení antireflexní vrstva je solární článek kompletní. Antireflexní vrstvy nebo antireflexní skla, které se následně instalují na FV panely a plní i ochranou činnost před vnějšími vlivy, se mohou různit. Čím dál tím častěji jsou povrchy článků opatřeny mikroskopickými strukturami.

<sup>8</sup> LIBRA, POULEK, pozn. 4, s. 41.

<sup>9</sup> HASELHUHN, pozn. 3, s. 17-18.

Pomocí laseru či mechanicky jsou vytvářeny struktury, které fungují jako pohlcovače světla a snižují reflexi ještě o stupeň více než jen dielektrické antireflexní vrstvy.<sup>10</sup>



Obrázek 5 – Monokrystalické články různé tvary a velikosti (zdroj: volně dle pozn. 3)

## 2.4.2 Polykrystalické články

Polykrystalické neboli mnohokrystalové články lze poznat hned podle jejich zevnějšku. Jejich hlavním znakem jsou modře se třpytící krystalové struktury. Vyrábí se pouze ve čtvercovém případně obdélníkovém provedení a jejich účinnost je o něco nižší než u monokrystalických, dosahuje hodnot okolo 16 %.<sup>11</sup>

Výroba polykrystalického článku není tak technologicky ani cenově tak náročná jako výroba monokrystalického. Zde se využívá metoda blokového lití, kdy se křemík zahřeje na 1500 °C a poté se v grafitovém kelímku ochlazuje až na teplotu blízkou bodu tání. Takto vzniknou kvádrové bloky, které se následně rozřezou na tyče a následně již může dojít k rozřezání na destičky. Odpad během tohoto procesu je nepatrný. Následné výrobní kroky jsou totožné jako při výrobě monokrystalických článků. Na výsledném solárním článku lze vidět, a také pozorovat na odrazu světla, rozdílnou orientaci jednotlivých krystalů.<sup>12</sup>

## 2.4.3 Polykrystalické pásové křemíkové články

Aby byly co nejvíce redukovány ztráty materiálu při výrobě, byl vyvinut proces, kdy se přímo z křemíkové taveniny vytahují pásy. Tyto pásy o tloušťku pouze 0,1 mm se dále řezají, nejčastěji pomocí laseru, na kousky. Tato metoda velmi šetří náklady na výrobu. Ještě větší úspory se dá dosáhnout, když tažený pás je ve tvaru více úhelníku, osmi ale i dvanácti. V těchto případech se již spíše než o tažení pásu, jedná o tažení trubky. Účinnost těchto FV článků se pohybuje kolem 15 %.<sup>13</sup>

<sup>10</sup> HASELHUHN, pozn. 3, s. 17-18.

<sup>11</sup> HASELHUHN, pozn. 3, s. 19

<sup>12</sup> HASELHUHN, pozn. 3, s. 19

<sup>13</sup> HASELHUHN, pozn. 3, s. 20

## 2.4.4 Tenkovrstvé články

Jedná se o úplně jiný typ oproti výše zmíněným FV článkům. Materiál na bázi křemíku nebo jeho sloučenin se nanáší v tenké vrstvě několika milimetrů na sklo anebo na jiné levné materiály jako je například plast. Tenkovrstvým článkům se také někdy přezdívá fotovoltaické fólie. Mezi hlavní výhody těchto článků je menší citlivost na teplotu a na zastínění, flexibilita, možnost průhlednosti materiálu, možnost lepší integrace a také použití umělého světla. Největší nevýhoda těchto článků je především nízká účinnost, která se pohybuje okolo 6-10 %<sup>14</sup>, jedná se asi jen o polovinu výkonu na stejnou plochu, než co můžeme získat z krystalový křemíkových článků. Výrobní proces není tak náročný, teplota během výroby se pohybuje mezi 200 °C a 500 °C. Jednotlivé elektrické propojení článků je integrováno již z výroby, to znamená, že za jeden článek se dá považovat dlouhý polovodičový proužek o šířce 1 cm. Přední kontakty tvoření vodivá a průhledná vrstva kovu (TCO = Transparent Conductive Oxide), která plní svůj účel a nebrání slunečnímu záření. Zadní kontakt je většinou kovový. Jako ochrana článků se používá skleněná tabule, poté dochází k zapouzdření do kompozitního materiálu.<sup>15</sup>

### 2.4.4.1 Amorfni křemíkové články (a-Si)

Amorfni křemík je typickým materiálem tenkovrstvé technologie. Tento typ článku se začal využívat od 80. let 20. století. Díky této technologii se můžeme potkat se solárními články u telefonů, svítelnách a dalších přenosných zařízeních. Dnes se již využívají ve velkých FV zařízeních.<sup>16</sup>

Nejedná se zde o pravidelnou krystalovou strukturu, ale spíše o neuspořádanou síť. Jelikož má amorfni křemík velmi malou difuzní vzdálenost tak je velmi náchylný k rekombinaci, to znamená, že mezi vrstvy P a N musela být přidána nedotovaná (intrinsická) vrstva, ve které je životnost nosičů náboje podstatně vyšší. V této vrstvě se odehrává absorpce světla a tvorba náboje a vrstvy P a N slouží pouze k vytvoření elektrického pole, které odděluje uvolněné nosiče náboje. Této struktuře se říká pin.<sup>17</sup>

---

<sup>14</sup> Polovodiče: Fotovoltaické články z krystalického křemíku a tenkovrstvé články. *Oenergetice.cz* [online]. 2017 [cit. 2019-01-15]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/polovodice-fotovoltaicke-clanky-krystalickeho-kremiku-tenkovrstve-clanky>

<sup>15</sup> HASELHUHN, pozn. 3, s. 21-24

<sup>16</sup> HASELHUHN, pozn. 3, s. 24-26

<sup>17</sup> HASELHUHN, pozn. 3, s. 24-26

Nízká účinnost se dá zvýšit více vrstvami, tyto články se nazývají tandemové a mohou klidně obsahovat tři vrstvy pin. Každá z těchto vrstev je schopna absorbovat jiné spektrum světla.<sup>18</sup>

Amorfní křemík lze také kombinovat s mikrokrystalickým křemíkem. Tyto solární články se nazývají mikromorfní. Změnou parametrů plasmy během výroby se na odvrácené straně od skla vytvoří krystalická struktura neboli mikrokrystalická křemíková vrstva.<sup>19</sup>

#### **2.4.4.2 Články CIS (dvojselenid měď-indium)**

Momentálně nejvyšší účinností u tenkovrstvých technologií se může chlubit technika CIS (Copper-Indium-diSelenid). Nanesená vrstva CIS je s vodivostí typu p a tuto vrstvu je následně nanesena vrstva sulfidu kadmia, která je typu N a snižuje ztráty způsobené chybami v krystalové mřížce. Specifikum těchto článků je jejich nestárnutí vlivem světla na rozdíl od amorfních křemíkových článků. Články CIS lze rozpoznat díky jejich barvě, která je tmavošedá až černá. Objevuje se u nich ale problém se stabilitou v horkém a vlhkém prostředí, proto je nutné dbát na kvalitní zapouzdření.<sup>20</sup>

#### **2.4.4.3 Články CdTe (telurid kademnatý)**

Solární články na bázi teluridu kademnatého se vyznačují specifickou tmavozelenou až černou lesknoucí barvou. Účinnost je u těchto článků u něco vyšší než u klasických amorfních. Tento druh FV článků se objevil na začátku 21. století a využívá se i pro velké FV výkony, například německý solární park Waldpolenz, který má momentálně instalovaný výkon 52 MW.<sup>21</sup>

### **2.4.5 Vícevrstvé a koncentrátorové články**

Účinnost solárních článků je hlavní parametr, který se výrobci snaží zlepšit. Stanovená účinnost jednoho P-N přechodu je definovaná na hodnotu 33,16 % (Shockey-Queisser limit). Tuto hodnotu je možno překonat dvěma způsoby. První je použití více přechodů P-N neboli vícevrstvé články (např. CIS články). Kdy každá vrstva využívá část slunečního spektra a ostatní záření propouští do dalších vrstev.

---

<sup>18</sup> HASELHUHN, pozn. 3, s. 24-26

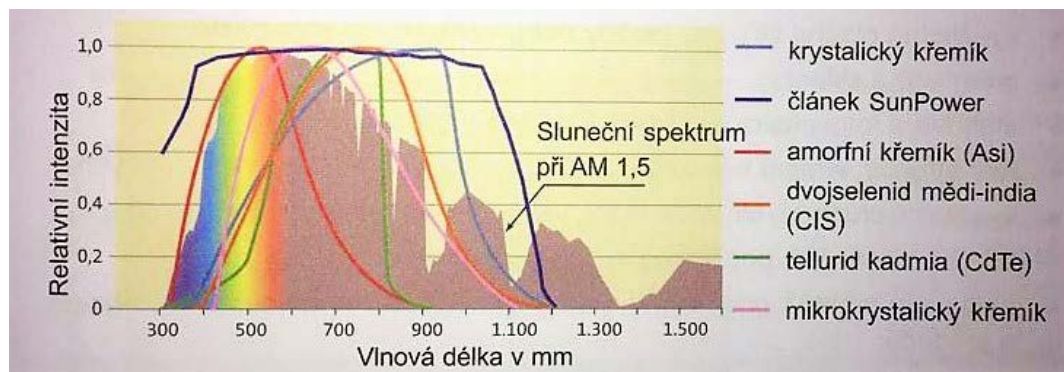
<sup>19</sup> HASELHUHN, pozn. 3, s. 26-27

<sup>20</sup> HASELHUHN, pozn. 3, s. 27-28

<sup>21</sup> HASELHUHN, pozn. 3, s. 28-29

Druhá možnost je zvýšení intenzity slunečního záření. Toho se dá docílit zrcadly či čočkami. Tento typ článků se nazývá koncentrátorové. Lze obě tyto varianty kombinovat, díky tomu jsme se vyšplhali v laboratorních podmínkách účinnost vyšší než 40 %.<sup>22</sup>

Samozřejmě zvýšení faktoru účinnosti sebou nese ruku v ruce zvýšení nákladů na výrobu. U koncentrátorových článků navíc musíme počítat s dodatečným chlazením článků, kvůli velmi vysoké teplotě.



Obrázek 6 – Sluneční spektrum a spektrální citlivost solárních článků<sup>23</sup>

## 2.5 Fotovoltaické panely

Soubor FV článku se nazývá fotovoltaický panel (modul), tyto panely poté tvoří FV generátor (fotovoltaickou elektrárnu). Nejčastější tvar FV panelu je obdélník, ale záleží na typu použité FV články. Častý počet článků u monokrystalického a polykrystalického panelu je 60, 6 článků v jedné a 10 článků v druhé řadě. Takový panel má rozměry na delší straně 1640, na kratší 992 mm.



Obrázek 7 – FV panel<sup>24</sup>

<sup>22</sup> HASELHUHN, pozn. 3, s. 24-29

<sup>23</sup> HASELHUHN, pozn. 3, s. 39

<sup>24</sup> Solar panel at Canterbury Municipal Building Canterbury New Hampshire. In: *Commons Wikimedia* [online]. 2012 [cit. 2019-01-15]. Dostupné z:

První elektrický parametr FV panelu, který uživatele zajímá je možný výkon FV modulu, značený  $P$ . Výkon má jednotku watt (W), u FV panelů se používá watt-peak (Wp), což je hodnota v laboratorních (ideálních) podmínkách. Standardní testovací podmínky (STC) jsou: Intenzita slunečního záření dopadající kolmo na FV panel  $I = 1000 \text{ W/m}^2$ , vzduchová hmota  $AM = 1,5$  a teplota článku  $T = 25^\circ$ .<sup>25</sup>

Celkový výkon dosažený z FV článků tedy závisí na těchto parametrech. Výkon je určen součinem proudu ( $I$ ) a napětí ( $U$ ). Nejvyšší možný dosažený výkon odpovídá bodu maximálního výkonu (MPP), tento bod je tvořen součinem  $U_{mp}$  a  $I_{mp}$ .<sup>26</sup>

$$P = U_{mp} * I_{mp} \quad (1)$$

$P$  (W) - výkon

$U_{mp}$  (V) – napětí maximálního výkonu

$I_{mp}$  (A) – proud maximálního výkonu

Další důležité parametry fotovoltaického článku jsou činitel plnění ( $FF$  – *Fill Factor*) a účinnost ( $\eta$ ). Činitel ukazatel měří kvalitu FV článku, typická hodnota  $FF$  fotovoltaických článků je v rozsahu 50 % až 82 %, pro normální křemíkové články je to 80 %.<sup>27</sup> Činitel plnění se vypočte jako podíl maximálního výkonu v MPP a součin maximálního napětí a maximálního proudu. Neboli součin zkratového proudu  $I_{sc}$  a napětí naprázdno  $U_{oc}$  (sc – short circuit, oc – open circuit).<sup>28</sup>

$$FF = \frac{U_{mp} * I_{mp}}{U_{oc} * I_{sc}} \quad (2)$$

$FF$  (%) – faktor plnění

$U_{mp}$  (V) – napětí maximálního výkonu

$I_{mp}$  (A) – proud maximálního výkonu

$U_{oc}$  (V) – napětí naprázdno

$I_{sc}$  (A) – zkratový proud

---

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2c/Fixed\\_Tilt\\_Solar\\_panel\\_at\\_Canterbury\\_Municipal\\_Building\\_Canterbury\\_New\\_Hampshire.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2c/Fixed_Tilt_Solar_panel_at_Canterbury_Municipal_Building_Canterbury_New_Hampshire.jpg)

<sup>25</sup> MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. s. 66. ISBN 978-80-01-04937-2.

<sup>26</sup> MASTNÝ, pozn. 25, s. 66

<sup>27</sup> Solar cell efficiency. *Wikipedia* [online]. 2019 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_cell\\_efficiency](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell_efficiency)

<sup>28</sup> MASTNÝ, pozn. 25, s. 66

Účinnost FV článků je definován jako podíl maximálního výkonu článku v bodě maximálního výkonu a výkonu dopadajícího slunečního záření ( $P_{in}$ ).

$$\eta = \frac{U_{mp} \cdot I_{mp}}{P_{in}} \quad (3)$$

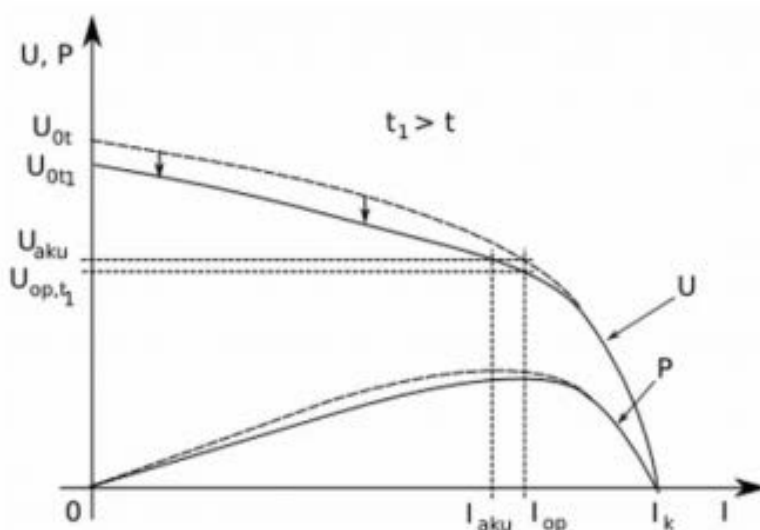
$\eta$  (%) – účinnost

$U_{mp}$  (V) – napětí maximálního výkonu

$I_{mp}$  (A) – proud maximálního výkonu

$P_{in}$  (W) – výkon dopadajícího slunečního záření

Není asi překvapivé, že se snižující se intenzitou dopadajícího slunečního záření na panel se výkon FV modulu snižuje. S teplotou je to právě naopak, se zvyšující se teplotou článku se výkon snižuje (viz Obrázek 7). Je to zapříčiněno zvýšením difúzní hodnoty minoritních nosičů náboje a zmenšením energetické mezery polovodiče, což vede ke zvýšení fotoproudu. Důležitější, než tento nárůst je fakt, že se sníží napětí naprázdno  $U_{oc}$ . Celé toto oteplení článku vede ke změně elektrických vlastností článku, které vedou ke snížení zatěžovací charakteristiky. Pokles  $U_{oc}$  u krystalického křemíku je okolo 0,4 %/K a pokles účinnosti tohoto článku přibližně o 0,5 %/K.<sup>29</sup>



Obrázek 8 – Vliv teploty na výkon FV článku<sup>30</sup>

Technologie ohledně výroby FV panelů se každoročně vylepšuje. Dá se říci, že v oblasti výroby elektřiny, je to jedno z nejdynamičtější se rozvíjících se odvětví. Cena

<sup>29</sup> MASTNÝ, pozn. 25, s. 67

<sup>30</sup> MASTNÝ, pozn. 25, s. 67



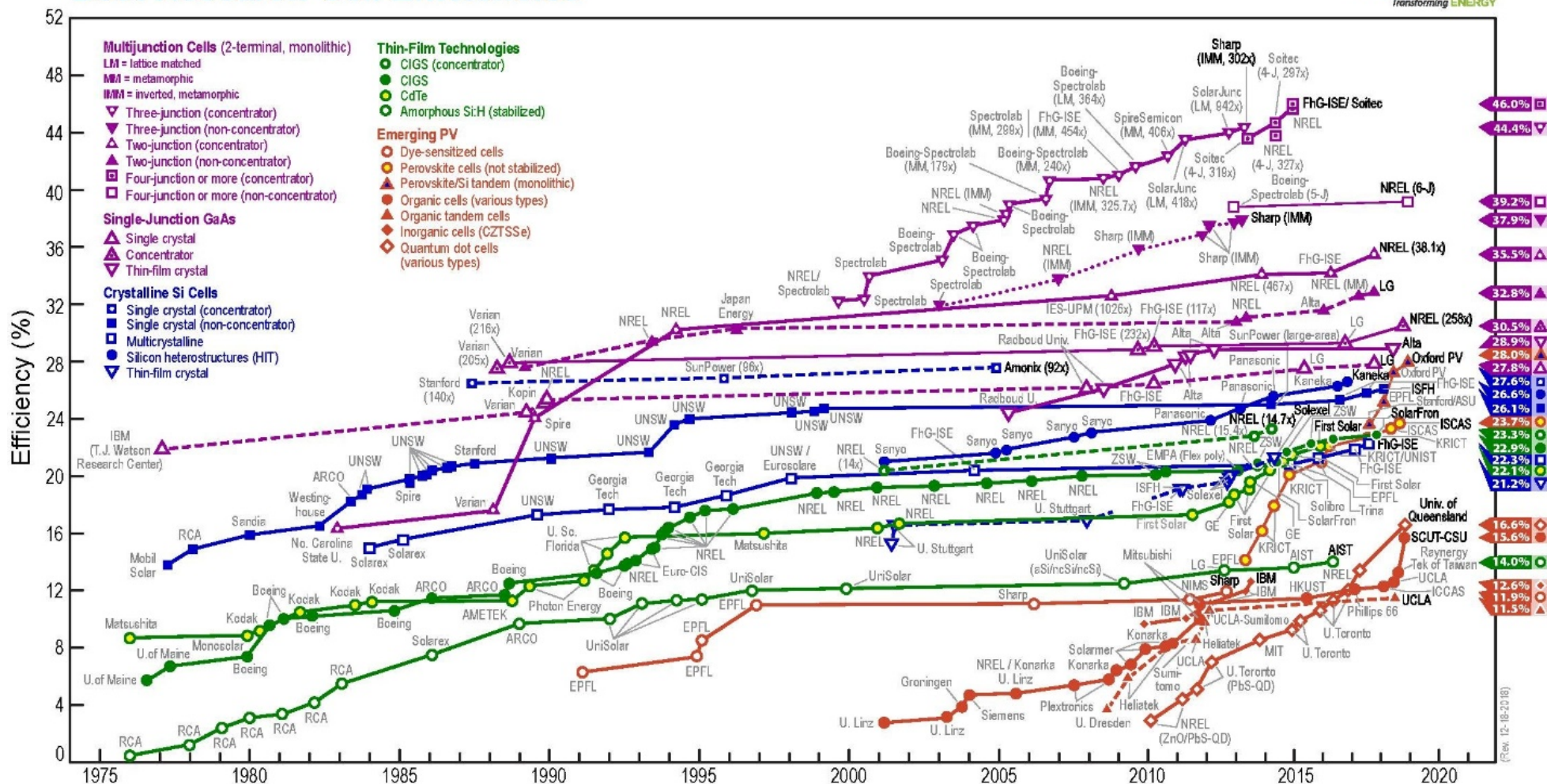
fotovoltaických modulů se díky zvyšující se poptávce, zefektivnění výroby, vstupem nových společností na trh a dalších faktorů, rok od roku snižuje. V roce 1977 se cena křemíkového FV článku pohybovalo kolem 76,67 \$ za watt, v roce 2014 to bylo pouze 0,36 \$/watt.<sup>31</sup> Tato podnikatelská příležitost je nejenom lukrativní pro velké společnosti, ale i pro malé uživatele. Dnes už je velmi lehké se stát ze spotřebitele výrobcem elektrické energie. Vidina soběstačnosti a nezávislosti v tomto rozhodování hraje také svojí roli.

V dnešní velmi ekologicky a ekonomicky smýšlející době není nic výjimečného, že se při návrhu nových domů počítá s instalací FV panelů. Dokonce je zde i snaha kooperace architektů a techniků, klade se důraz nejenom na správném fungování ale i na estetickou stránku věci. FV panely již není problém integrovat přímo do budovy například jako plnohodnotnou střešní krytinu anebo rovnou jako fasádu. Samozřejmě nejvíce solárních modulů je instalováno klasickou metodou, a to formou montáže na střechu.

---

<sup>31</sup> Fotovoltaika. *Wikipedia* [online]. 2018 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaika>

# Best Research-Cell Efficiencies



Graf 1 – Vývoj účinnosti různých typů FV článků<sup>32</sup>

<sup>32</sup> Conversion efficiencies of best research solar cells worldwide from 1976 through 2019 for various photovoltaic technologies. Efficiencies determined by certified agencies/laboratories. [online].In: .[cit. 2019-01-08].Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:PVeff\(rev190103\).pdf](https://en.wikipedia.org/wiki/File:PVeff(rev190103).pdf)

## 3 Zákon o podporovaných zdrojích energie

### 3.1 Úvod

Zákon číslo 165/2012 Sb. – *Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů* má sedm částí. Zákon je platný ze dne 31. ledna 2012. Část, na kterou se ve své práci zaměřím, je část první. Ostatní části totiž pojednávají jen o různých změnách v zákonech.

Tento zákon kromě definování základních pojmů jako OZE: „*Obnovitelnými zdroji se rozumí obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu z čistíren odpadních vod a energie bioplynu.*“ se zabývá i podporou obnovitelných zdrojů, formou a financováním podpory elektřiny a tepla, výkupních cen a dalších věcí týkajících se OZE. Tento zákon ale především zmiňuji v této práci z důvodu definování Národního akčního plánu, který považuju za stěžejní dokument v oblasti OZE, jež určuje ráz a směr v oblasti obnovitelných zdrojů.<sup>33</sup>

### 3.2 Národní akční plán

Hlava II v první části zákona o POZE se věnuje Národnímu akčnímu plánu. Jedná se o strategický dokument v oblasti OZE pro Českou republiku, jehož návrh vypracovává ministerstvo a následně schvaluje vláda. Plán je na dobu trvání deseti let. Dokument byl schválen v roce 2010 a platí tedy do roku 2020. Poslední aktualizace pochází z roku 2015. Plán vychází z povinností členského státu Evropské unie definovaných ve směrnici Evropského parlamentu a rady č. 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů.

Tato směrnice pojednává o splnění dvou konkrétních cílů do roku 2020. První se týká podílu energie z OZE na hrubé konečné spotřebě energie v ČR ve výši 13 % a druhý pojednává o podílu energie z OZE na hrubé konečné spotřebě v dopravě ve výši

---

<sup>33</sup> *Zákon 165/2012 Sb., ze dne 31. ledna 2012, o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů*. Praha: Tiskárna ministerstva, 2012, 2012(165).

10 %. Pro Evropskou unii jako celek vyplývá z této směrnice dokonce cíl 20 % podílu energie z OZE na hrubé konečné spotřebě.<sup>34</sup>

Česká republika v Národním akčním plánu předpokládá hodnoty ještě o něco vyšší a to 15,3 % u podílu energie z OZE na hrubé konečné spotřebě energie v roce 2020.<sup>35</sup>

Dle tohoto plánu se má solární energie podílet na výrobě elektřiny v ČR v roce 2020 instalovaným výkonem 2 375 MW (u fotovoltaické energie to znamená 2 431 GWh). Celkově v roce 2020 má být celkový instalovaný výkon z OZE 4 429 MW a hrubá výroba elektřiny 11 290 GWh. To znamená, že více než 53 % instalovaného výkonu a 21 % hrubé výroby elektřiny z OZE budou pokrývat fotovoltaické elektrárny.<sup>36</sup>

### 3.2.1 Průběžné výsledky

Ze zprávy ministerstva obchodu a průmyslu: *Obnovitelné zdroje energie v roce 2017* plyne, že výroba a instalovaný výkon fotovoltaických elektráren stagnoval. Hodnoty vyrobené elektřiny v roce 2017 byly 2 193 GWh a instalovaný výkon se rovnal 2 070 MWp. Což je mírné zaostání za plánovanými hodnotami odhadované pro rok 2017 v NAP. Celkově také na podílu výroby elektřiny z OZE ČR zaostala v roce 2017 o nějakých 500 GWh.<sup>37</sup>

Jeden z cílů směrnice 2009/28/ES byl již naplněn. V roce 2017 podíl obnovitelné energie na konečné spotřebě energie podle metodiky EUROSTAT – SHARES se pohyboval okolo 15 %. To znamená, že již byl překonán cíl 13 % stanoven na rok 2020.<sup>38</sup>

Druhý cíl, podíl energie z OZE na hrubé konečné spotřebě elektřiny v dopravě, je za očekávání. Výsledný podíl za rok 2017 je 6,58 %, podle plánu by měl být podíl o jeden procentní bod lepší.<sup>39</sup>

---

<sup>34</sup> *Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2015 [cit. 2019-03-25]. Dostupné z:

<https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/54909/62718/649151/priloha001.pdf>

<sup>35</sup> *Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů*, pozn. 34.

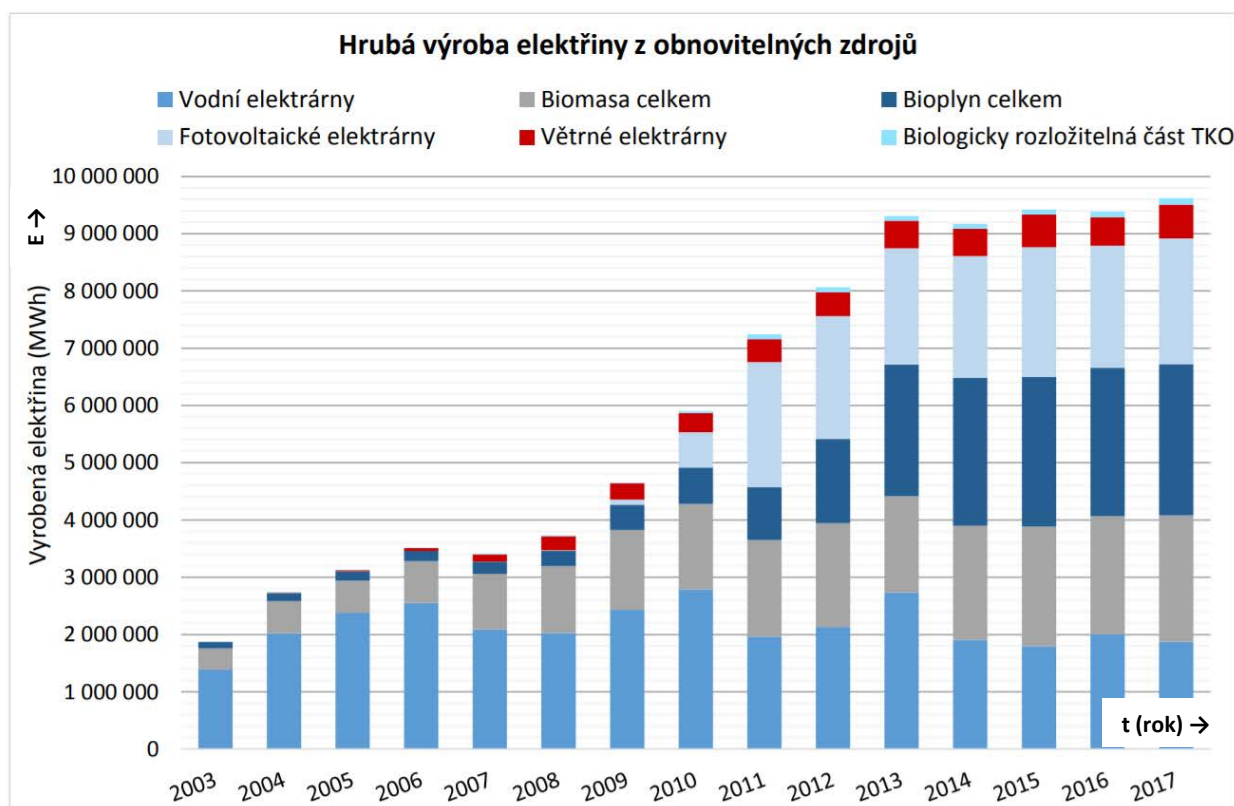
<sup>36</sup> *Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů*, pozn. 34.

<sup>37</sup> *Obnovitelné zdroje energie v roce 2017* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu - oddělení analýz a datové podpory koncepcí: MPO, 2018 [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2018/12/Obnovitelne-zdroje-energie-v-roce-2017-new.pdf>

<sup>38</sup> *Obnovitelné zdroje energie v roce 2017*, pozn. 37.

<sup>39</sup> *Obnovitelné zdroje energie v roce 2017*, pozn. 37.

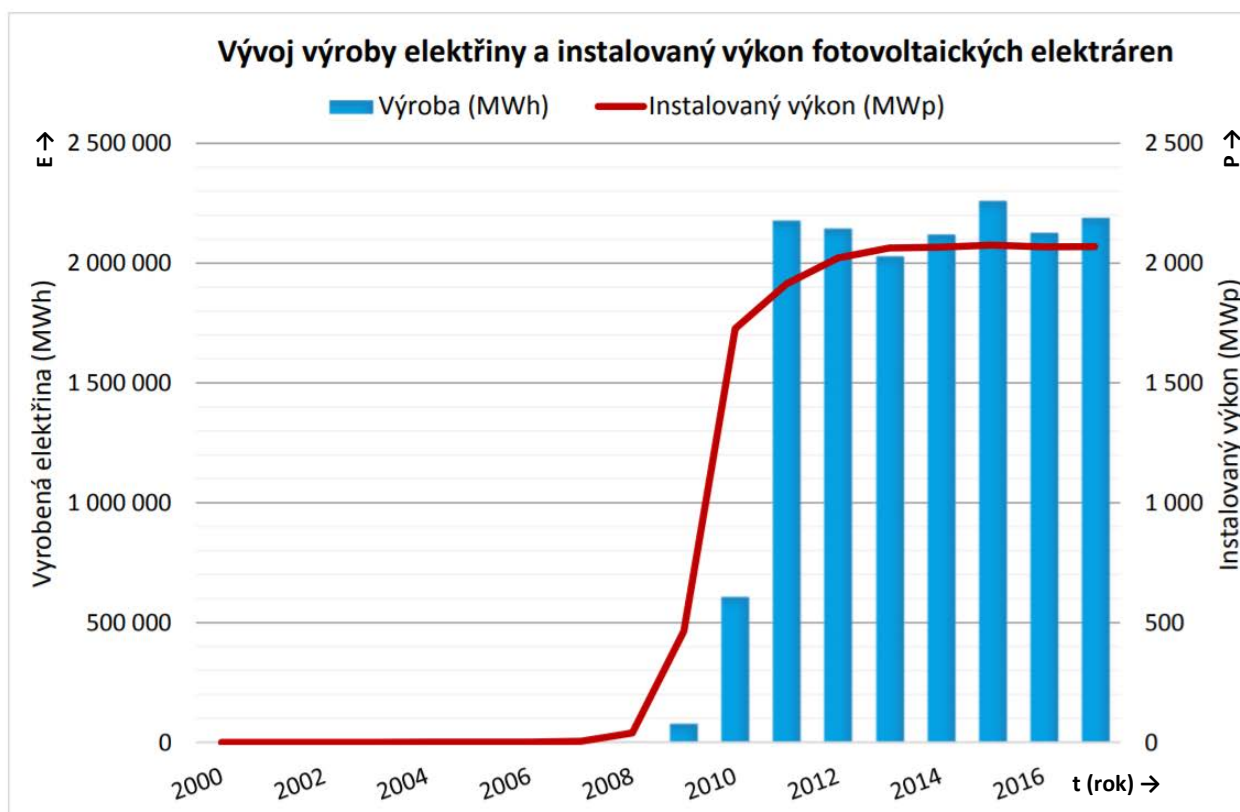
Zajímavý výsledek je i podíl OZE na celkové výrobě elektřiny v roce 2017, ten byl 11,1 %, fotovoltaické elektrárny z toho pokrývaly 2,5 %. To znamená, že podíl FV elektráren v OZE byl přes 23 %.<sup>40</sup>



Graf 2 – Vývoj hrubé výroby elektřiny z OZE<sup>41</sup>

<sup>40</sup> Obnovitelné zdroje energie v roce 2017, pozn. 37.

<sup>41</sup> Obnovitelné zdroje energie v roce 2017, pozn. 37.



Graf 3 - Vývoj výroby elektřiny a instalovaný výkon FV elektráren<sup>42</sup>

### 3.3 Budoucnost

Národní akční plán je platný do roku 2020, ale již v půlce roku 2018 se odsouhlasila další dohoda mezi členskými státy EU. Jde o zvýšení podílu OZE do roku 2030 v EU na 32 %. V roce 2017 se OZE na výrobě elektřiny v EU podílela necelými 21 %. Momentálně tento cíl splňují pouze tři členské státy a to Švédsko, Finsko a Lotyšsko. Cesta k tomuto vytyčenému cíli samozřejmě povede přes nový národní akční plán a pravděpodobně se dočkáme i nového energetického zákona.<sup>4344</sup>

<sup>42</sup> *Obnovitelné zdroje energie v roce 2017*, pozn. 37.

<sup>43</sup> *Podíl OZE v ČR se musí zvýšit na 22,5 %, aby byl dosažen celoevropský cíl do roku 2030*, pozn. 2

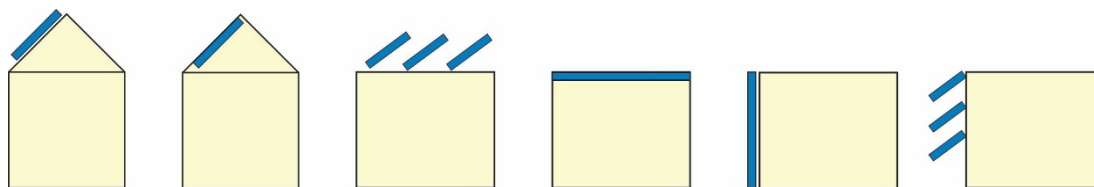
<sup>44</sup> Již 11 zemí Evropské unie splnilo své cíle pro podíl OZE do roku 2020. *Oenergetice.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-01-15]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/evropska-unie/jiz-11-zemi-evropske-unie-splnilo-sve-cile-podil-oze-roku-2020/>

## 4 Místo umístění FV panelu na budovu

### 4.1 Úvod

Jedna z hlavních otázek při instalaci solárních panelů je správná volba místa na budově. Investor musí brát v potaz několik faktorů, které mohou zásadně ovlivnit výslednou efektivitu panelů neboli výrobu elektřiny. Kooperace mezi typem panelu a jeho umístěním musí být důkladně zanalyzována. Je možné, že na dané místo zvolený panel nelze umístit, například kvůli nevhodné konstrukci budovy. Proto je nutné vypracovat technickou dokumentaci budovy, skladby jednotlivých konstrukcí jako jsou obvodové zdi anebo střecha. Neméně důležitá je studie místopisné polohy budovy. V tomto kontextu nás především zajímají dopadající sluneční paprsky, jejich doba a intenzita v průběhu dne během celého roku.

Nejčastější poloha panelů je na střechách budov, kde není třeba řešit zastínění okolními objekty. Při této instalaci musíme brát v úvahu jen statickou únosnost střechy. Další možností je umístění FV panelů na fasádu domu nebo jiná místa vhodná pro danou budovu (lokalitu). Každé místo s sebou nese určité výhody a nevýhody, které konkrétněji rozeberu v následujících kapitolách.



Obrázek 9 – Možnosti instalace FV na budovy<sup>45</sup>

### 4.2 Střecha

Jde o primární místo, o kterém se uvažuje při projektování solárních panelů na budovu. Zásadní je orientace a sklon střechy, následně se zkoumá materiálová struktura střechy. Střechu můžeme rozdělit na dva hlavní typy, a to na plochou střechu se sklonem do 5°, a na střechu se sklonem více než 5°. Pokud se jedná o plochou střechu je zde větší prostor pro variabilitu FV panelů. Na druhou stranu, pokud se jedná o střechu se sklonem na nevhodnou světovou stranu, v naší zeměpisné šířce, na sever,

<sup>45</sup> *Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installers, architects and engineers*. 2nd ed. Sterling, VA: Earthscan, 2008. s. 235. s. 199. ISBN 978-1-84407-442-6.

nemá smysl zde instalovat FV panely. Díky tenkovrstvým článkům, které mají minimální hmotnost lze provést výstavbu panelů i na střechy s malou nosností.

### 4.2.1 Uchycení

Panely lze uchytit pomocí stojanů nebo přímo integrovat do budovy. Varianta integrovaných panelů do budov se rozumí např. nahrazení přímo střešní krytiny (šindele). Častější varianta, s kterou se setkávám, je uchycení pomocí stojanů. Je to díky tomu, že stojany lze různě modifikovat a tím pádem lze panel uchytit téměř na libovolný typ střechy, popřípadě střešní krytiny. Pokud je střecha plochá lze pomocí konstrukce natočit panely nejvýhodnějším směrem. Navíc je to občas i jediná možnost, jak instalovat FV panely na starší objekty. Uchycení na stojany má své pro i proti. Jedna z výhod je, že lze instalovat libovolnou velikost panelu, také dochází k chlazení panelu pomocí proudění vzduchu kolem panelu což je velmi vítané. Při stavbě musíme ale počítat s kvalitním uchycením, aby nebyl při větším poryvu větru panel poškozen, také je potřeba dbát na impregnaci v místě uchycení se střechou, aby nedocházelo k průsaku vody. Dříve se stojany vyráběly z oceli, poslední roky se preferuje hliník díky menší hmotnosti a redukci koroze. Během let se stojany zdokonalilo na takovou úroveň, že je možné instalovat panely na téměř všechny druhy střešních krytin. Se sklonem střechy se samozřejmě mění i typ stojanu a náročnost na jeho instalaci. Nevýhodou je také možná delší životnost panelů než střechy (střešní krytiny), při rekonstrukci je nutnost panely odstranit a případně znovu nainstalovat, což samozřejmě zvyšuje finanční náročnost takového aktu. <sup>46</sup>

### 4.2.2 Pohyblivý stojan

Pokud sluneční paprsky dopadají kolmo na rovinu maximální dosažená intenzita záření je okolo  $I = 1100 \text{ W.m}^{-2}$ . Maximální výkon získaný z kvalitního křemíkového z panelu o ploše  $S = 1 \text{ m}^2$  a účinnosti  $\eta$  okolo 20 % je tedy okolo  $P = 200 \text{ W}$ . Proto je důležité udržet natočení panelu co nejvíce kolmé ke Slunci, aby jeho efektivita neklesala. Na Zemi není potřeba dosáhnout natočení  $90^\circ$ , od  $60^\circ$  se již množství vyrobené energie nemění. Konstrukce, které se mohou otáčet za Sluncem jsou dvojího typu. Aktivní sledovací systém používá soubor malých motorů, které

---

<sup>46</sup> BALFOUR, John, Michael SHAW a Nicole Bremer NASH. *Advanced photovoltaic system design*. Burlington, Mass.: Jones & Bartlett Learning, c2013. s. 85. ISBN 978-1-4496-2469-9.



pomocí senzorů otáčí celou instalovanou skupinou. Případně mohou být přímo naprogramovány na celý rok a použít malé krokové motory. Pasivní sledovací systém využívá chladivo, které funguje na principu vypařování a kondenzace. Díky změně hmotnosti jedné strany panelu se konstrukce začne natáčet jen působením zemské přitažlivost. Přesnost tohoto systému, ale není tak vysoká, jako při použití aktivních prvků. Konstrukce mohou být jak s otáčením vertikálním, tak horizontálním pro ještě lepší kopírování polohy Slunce po obloze. Pomocí sledovacích systému můžeme dosáhnout zvětšení účinnosti FV panelů od 20 do 40 %. Každé toto vylepšení sebou nese samozřejmě zvýšení nákladů na instalaci a následně na jejich údržbu, proto je důležité správně propočítat, jestli se investice do těchto přídatných zařízení vrátí.<sup>4748</sup>

### 4.3 Fasáda

Další možnost, která se nabízí je instalace fotovoltaických panelů na fasádu. Zde je potřeba konzultovat o něco více promítnutí instalace na celkový vzhled budovy. Tuto otázku je lehčí diskutovat při výstavbě nové budovy než již u postavených objektů. Instalace panelů na starší budovy může změnit ráz budovy na tolik, že již původní myšlenka architekta bude zcela potlačena, proto výstavba panelů na fasády historických budov se nedoporučuje, případně ani není umožněna úřady. Naproti tomu u nových budov toto řešení může přinést jak po estetické, tak po užitkové stránce, prospěch.

Je potřeba si uvědomit, že fasáda se skládá z různých vrstev a musí odolat jak vnějším, tak vnitřním vlivům. Převážně slouží jako nosný prvek ostatních konstrukcí budovy, dále je to ochrana před klimatickými jevy, tepelná a zvuková izolace atd. Proto při instalaci FV panelů na fasády je potřeba dát zřetel na to, aby nedošlo ke snížení funkčnosti jednotlivých vrstev, ale i celkově fasády.<sup>49</sup>

Instalace na fasádu je možné dvěma způsoby, první je instalace před fasádu a druhá přímo integrace do fasády. První varianta je možná jak u nových, tak především u starších budov. Například velké stěny bez oken u průmyslových objektů přinášejí velký potenciál, zde lze použít standardní moduly bez potřeby úpravy tvaru a velikosti.

---

<sup>47</sup> BALFOUR, pozn. 46, s. 87.

<sup>48</sup> LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie*. 2., dopl. vyd. Praha: Ilsa, 2010. s. 63. ISBN 978-80-904311-5-7.

<sup>49</sup> *Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installers, architects and engineers.*, pozn. 45, s. 235.

S druhou možností, více propracovanější, se lze setkat převážně u nových budov, kde se může tato varianta projednat již u architektonického návrhu. Velkou oblíbenost v posledních letech nese umístění panelů mezi dvě skla, zasklení a následné použití u velkých prosklených budovách. Instalací modulů místo drahých fasádních prvků lze dosáhnout i ekonomických úspor. Očividná je i následná finanční injekce při budoucím využívání budovy.<sup>50</sup>

Oproti instalaci panelů na střechy budov je u instalací na fasády jedno očividné úskalí, s kterým se, pokud již budova byla postavena, těžko bojuje. Jedná se o orientaci budovy a optimální úhel dopadajícího slunečního záření. Většinou se tedy instalace modulů provádí pouze na ideálně orientovanou stranu ke Slunci a samotné natočení panelů lze jen v minimálním rozsahu.

## 4.4 Zastínění proti Slunci

Při potřeby zastínění prostoru před nežádoucími slunečními paprsky je použití FV článků vítaná možnost. Tento typ instalace můžeme rozdělit na dvě velké skupiny, skleněné střechy a markýzy (žaluzie). Tato varianta použití FV panelů nejenom, že vyrábí elektrickou energii pro budovu, ale také ochlazuje budovu v teplých měsících a tím snižuje náklady na klimatizaci objektu v teplých měsících.

U skleněných střech lze použít stejné materiály jako u skleněných fasád, ale je nutné udělat dodatečná měření, jelikož zde dochází k trochu odlišnému působení okolních vlivů a tím spojené namáhání materiálu. Nesmí docházet k přehřívání a přílišnému ozařování prostoru pod panely. Ideální využití je u průsvitných střech nad nevytápěnými prostory jako jsou schodiště a atria nebo nad otevřenými prostory např. nádraží. Můžeme se s touto metodou setkat, ale i v menších měřících jako jsou třeba zimní zahrady. Varianta skleněných střech s FV panely je realizována u nových staveb, případně u rekonstrukcí střech nebo jejich částí (světlíků) je možné využít této instalace.

Primární myšlenka zastínění prostoru a následně rozvinutá o nápad využití solární energie lze uskutečnit pomocí markýz případně žaluzií. Většinou se jedná o předsunuté panely před budovu, které nejenom, že vrhají stín, ale také přispívají do fondu výroby elektřiny. Tímto typem instalace je dána i větší možnost variability. Je možné použít zařízení umožňující pohyb panelů, natáčení žaluzií v různých osách

---

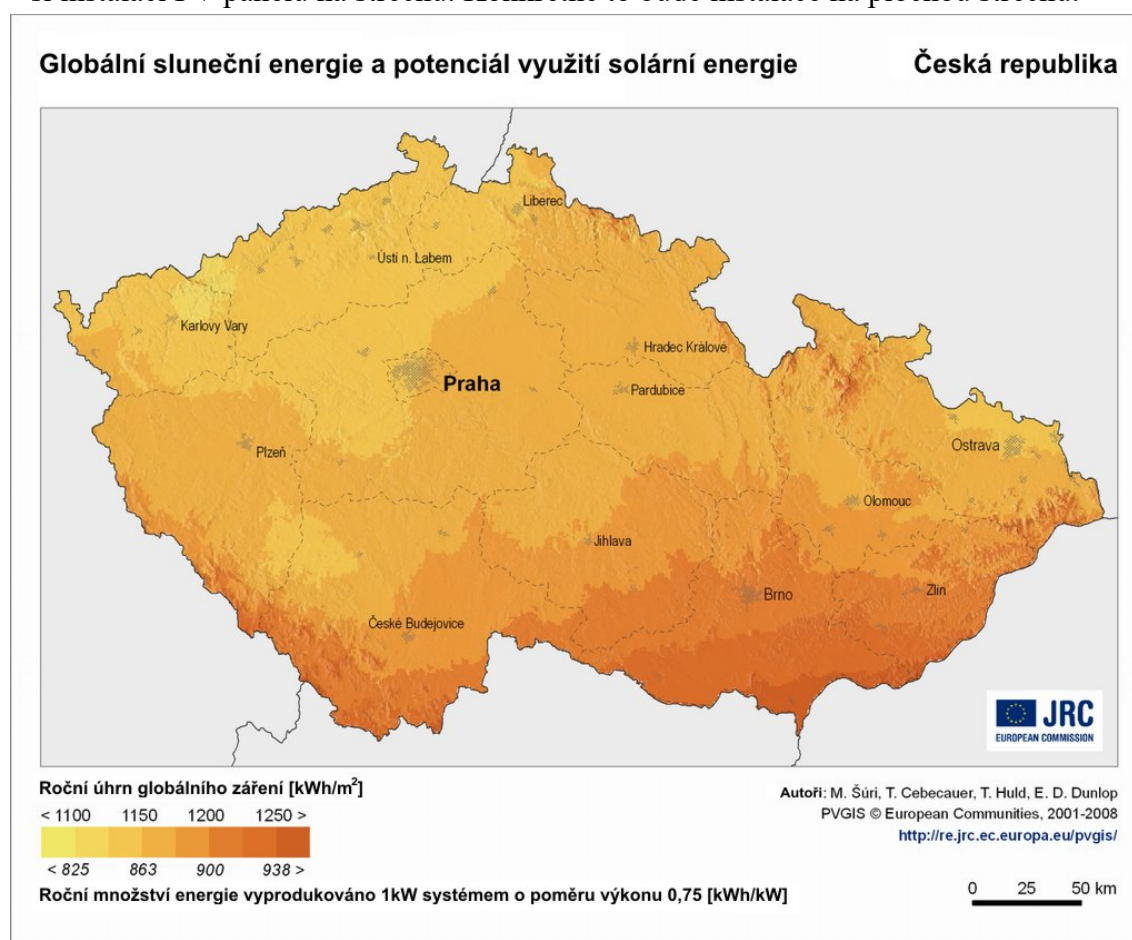
<sup>50</sup> *Planning and installing photovoltaic systems*, pozn. 45., s. 245.

podle pohybu Slunce a tím maximalizovat zastínění prostoru neboli efektivitu panelů, je hojně rozšířená.<sup>51</sup>

## 4.5 Závěr

Možností, kam umístit FV panely na budovu, je velké množství. Pokud výstavba budovy je ve fázi plánování tyto možnosti se násobí, navíc lze moduly více integrovat přímo do objektu a mohou plnit dodatečné funkce krom výroby elektřiny. Je potřeba dbát především na správnou funkčnost nejenom při instalaci, ale i v dlouhodobějším horizontu událostí.

Moje práce se bude věnovat již postaveným budovám, proto se zaměřím na možnosti, které se týkají těchto budov. Jelikož chci mít co nejméně limitujících faktorů při výstavbě, ať už je to orientace budovy nebo zastínění okolními objekty, zvolil jsem si instalaci FV panelů na střechu. Konkrétně to bude instalace na plochou střechu.



Obrázek 10 – Globální sluneční energie a potenciál využití solární energie v ČR<sup>52</sup>

<sup>51</sup> *Planning and installing photovoltaic systems*, pozn. 45., s. 257.

<sup>52</sup> Mapa slunečního záření v České republice. In: *Porsyl* [online]. PVGIS © European Communities, 2001 - 2008 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <http://www.porsyl.cz/>

## 5 Projekt – bytový dům

### 5.1 Úvod

Jak již bylo naznačeno výše v této bakalářské práci, projekt se bude týkat instalace FV panelů na bytový dům. Pod pojmem bytový dům si představme panelový dům, vystavěný mezi 50. – 90. lety minulého století. Typ panelového domu jsem zvolil z jednoho zásadního důvodu. Oproti ostatním domům s více byty totiž mají panelové domy plochou střechu, tzn. maximální sklon do  $12^\circ$ , a není problém s instalací a následnou ideální orientací panelů. Navíc na území Prahy se nachází velký počet tohoto druhu bydlení. Bytový dům, který je součástí projektu, není konkrétní budova, ale jedná se o hypotetický příklad, nicméně podložený reálnými daty.

### 5.2 Základní informace

Umístění budovy jsem zvolil v hlavním městě České republiky. Praha není z hlediska dopadajícího slunečního záření na vrcholu pyramidy v naší zemi (viz Obrázek 9), ale jako referenční místo je více než dostačující.

Celkový počet bytů v domě není pro výsledek projektu důležitý. Pomohl jsem si počtem bytů jen v tom ohledu, aby celková spotřeba elektřiny budovy byla větší než vyrobená elektřina z FVE. Celkový počet bytů jsem nakonec zvolil 72, s tím že průměrná roční spotřeba je 3 000 kWh na byt. Zásadní je velikost střechy. Zvolil jsem tedy délku budovy 50 m a šířku 20 m, to znamená plocha střechy je rovna 1 000 m<sup>2</sup>.

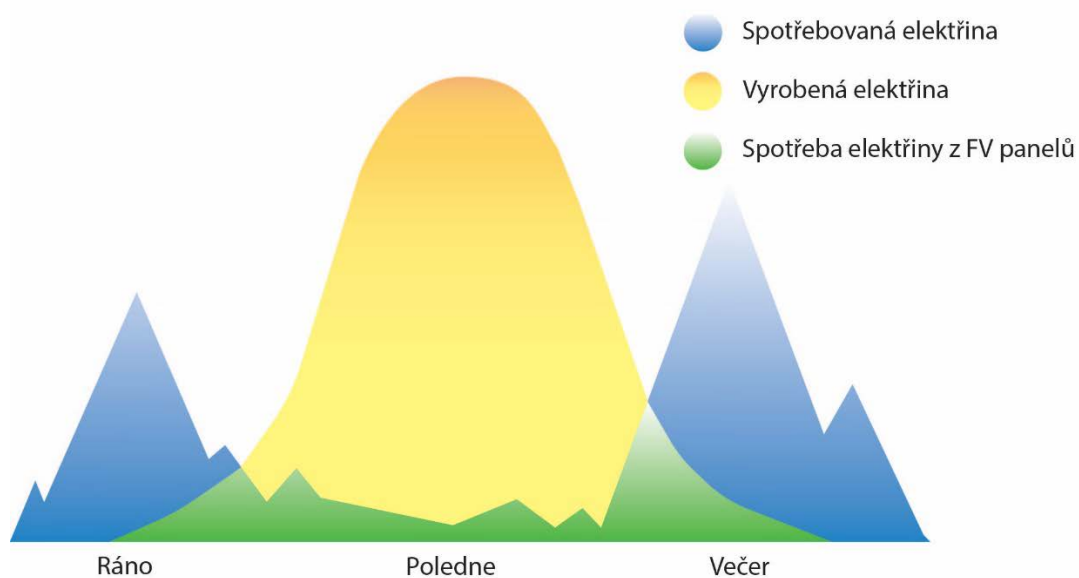


Obrázek 11 – Bytový dům

I když modelová budova není z žádné strany stíněná a tím pádem by se FV panely mohly umístit i na fasádu budovy. Reálně se moc nestává, že by budova okolo sebe neměla objekty vrhající stín, a proto jsem se zaměřil pouze na střechu. Jelikož bych tento projekt nechtěl nechat jen na bázi teoretické, ale dát mu i reálnější obrysy. Musel jsem uvažovat nad minimem limitujících faktorů, jako je orientace, velikost oken nebo zateplení fasády, aby se mohl projekt uskutečnit na co nejvíce místech. Proto jsem zvolil umístění pouze na střechu, kde se potýkáme pouze s omezující nosností střechy, což by u střech použitých u panelových bytů neměl být žádný problém.

### 5.3 Uložení energie

Jedná o klasický bytový dům obsazený převážně rodinami jejichž členové tráví pracovní den v zaměstnání případně ve škole. To se samozřejmě odráží na diagramu denní spotřeby elektřiny v domě. To znamená, že s větší spotřebou energií můžeme počítat v ranních, a především ve večerních hodinách. Naopak přes den je odběr elektřiny minimální. Jelikož výroba elektřiny FV panely probíhá přesně naopak, je potřeba se s touto okolností vypořádat. Český trh neboli společnosti na něm působící nabízejí různé varianty.



Obrázek 12 – Spotřeba a výroba elektřiny během dne<sup>53</sup>

<sup>53</sup> Energetická soběstačnost. In: Skupina ČEZ [online]. [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/sluzby-pro-zakazniky/fotovoltaika.html>

První možností je přebytek elektrické energie dodávat do distribuční sítě, pro kterou jsem se nakonec ve své práci rozhodl. Druhá možnost je uložení přebytečné energie, a to buď s akumulací do vody nebo do baterií. Mezi instalací bojleru nebo bateriemi je hlavní rozdíl jejich pořizovací cena. I když se každoročně baterie zlevňují rozhodně se stále jedná o nákladnější variantu akumulace. Na druhou stranu baterie s sebou přináší podstatnou výhodu a to, že naakumulovanou elektřinu lze použít na provoz elektrických spotřebičů. Otázkou je ale také životnost baterií a jejich případná klesající maximální kapacita. Tyto dva způsoby samozřejmě jde kombinovat, což je nakonec velmi časté řešení.

V nedávné době přišli dodavatelé elektrické energie s novým řešením ukládáním přebytečné elektřiny. Představil tzv. cloudovou neboli virtuální baterii. Tento způsob „akumulace“ jsem chtěl prvně využít v mé instalaci, ale po zjištění podrobností jsem od toho upustil. I tak bych se této možnosti chtěl trochu více věnovat v mé práci, jelikož je to jeden ze zajímavých nápadů do budoucna. Nabídky jednotlivých společností se nepatrně liší, ale princip zůstává stejný.

### **5.3.1 Virtuální baterie**

Jak již název napovídá nejedná se o klasickou baterii, je otázkou, jestli se v tomto úhlu pohledu dá stále mluvit o baterii. Možná by byl vhodnější název Virtuální akumulace, ale z pohledu marketingového je baterie asi více vyhovující. Vyrobena elektrická energie, která se nespotřebuje, je posílána do sítě. Tento přebytek se dá označit za tzn. zápůjčku a dodavatel se zavazuje, že tuto energii ve stejné velikosti jako ji obdržel vrátí zpět zákazníkovi až bude požadovat. Přední dodavatel a zároveň distributor elektrické energie E.ON Energie, a.s. řeší zpoplatnění baterie následovně. Cena za baterii se odvíjí od její kapacity, čím větší kapacita, tím větší měsíční poplatek. Např. za 1 MWh si E.ON účtuje 49 Kč měsíčně, je potřeba říct, že kapacita je za cyklus (12 měsíců). Celý systém je připojen na internetovou síť, a proto je možné sledovat, jak stav baterie, tak aktuální vyrobenou a spotřebovanou elektrickou energii. Lze také tento systém obohatit o klasickou baterii, tím vytvořit ostrovní systém a být zásobovaný elektrickou energií i při výpadku proudu.<sup>54</sup>

---

<sup>54</sup> Virtuální baterie specifikace. *EON-solar* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: [https://www.eon-solar.cz/static/files/EON\\_Virtualni\\_baterie\\_specifikace\\_v18.pdf](https://www.eon-solar.cz/static/files/EON_Virtualni_baterie_specifikace_v18.pdf)

Na první pohled to vypadá zajímavě, ale je potřeba se na to podívat v širších souvislostech. Cena elektřiny neskládá jen z jedné složky, je rozdělena do dvou skupin. První skupina, asi 30 % (záleží na odebíraném množství) ceny, je tržní cena elektřiny, kam spadá silová elektřina a tuto částku platíme dodavateli elektřiny. Druhou skupina je regulovaná cena elektřiny, kde jsou položky za distribuci, poplatky za jistič, systémové služby, za činnost zúčtování operátoru trhu s elektřinou, dále příspěvek na podporované zdroje a daně. Ceny za jednotlivé položky regulované elektřiny nastavuje ERÚ. Pravidelně vydává Energetický regulační věstník, kde jsou stanoveny ceny za související službu v elektroenergetice odběratelům ze sítí nízkého napětí. Tato skupina poplatků tvoří 70 % z celkové ceny elektřiny. A to, co může dodavatel ovlivnit neboli poskytovatel virtuální baterie je pouze cena silové elektřiny. To znamená, že při pořízení baterie platí zákazník stejně fixní (regulované) náklady, které jsou 70 % z výsledné ceny za elektřinu.<sup>55</sup>

Jak jsem předeslal v předchozím odstavci. Pro koncového zákazníka není varianta s virtuální baterií tak lukrativní, jak se může na první dojem zdát. Jelikož je možné použít virtuální baterii jen u instalací do 10 kWp a někdy i nutnost vybudování instalace od poskytovatele virtuální baterie, nepřiklonil jsem se nakonec ve své práci k této variantě. Uvidíme, jak se toto odvětví s cloudovou technologií bude vyvíjet dál.

## 5.4 Komponenty FVE

Ceny jednotlivých komponentů FVE pocházejí z velkoobchodu Solid Power Distribution, s.r.o. Nabídka i s cenami mi byla zaslána přímo od vedení firmy. Ceny jsou uvedeny bez DPH, pokud není uvedeno jinak.

### 5.4.1 FV panel

Základní komponent a také ten nejdražší na celé instalaci je FV panel. Zvolil jsem monochromatický panel od renomované asijské firmy s dlouhodobými zkušenostmi na poli obnovitelných zdrojů energie GCL, konkrétně se jedná o typ M6/60 o maximálním výkonu 300 Wp. Cena za tento panel v nabídce je 2 554 Kč za kus, případně 30 kusové balení za 74 304 Kč. K této ceně je ještě potřeba připočítat recyklační poplatek, který činí 15 Kč za panel. Střecha musela být, kvůli lepší

---

<sup>55</sup> Cena elektřiny: Z čeho je složena? [online]. Cenyenergie.cz, 2014 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://www.cenyenergie.cz/cena-elektriny-z-ceho-je-slozena/#/promo-ele-mini>

manipulaci a bezpečnosti zmenšena na delší straně o 1,5 m a na kratší straně o 1,2 m.<sup>56</sup> To nám dá celkovou plochu k využití rovnu 827,2 m<sup>2</sup> (17,6 x 47 m). Na střechy budov se většinou panely pokládají na šířku a já jsem se toho držel. Jelikož při této variantě není tak velký nápor větru na panely, není nutné mohutné zatížení a tím se zmenšuje i celkové zatížení střechy. Navíc na mé potenciální ploše to znamená i větší počet panelů, jelikož se potýkám se zmenšeným stínem oproti poloze na výšku. Pro výpočet vzájemného zastínění panelů je potřeba znát rozměr panele, který najdeme s ostatními užitečnými hodnotami v katalogu.

*Tabulka 2 – Elektrické parametry FV panelu GCL – M6/6 300Wp*

### Elektrické parametry

		STC*	NOTC**
<b>Max. výkon</b>	$P_{\max}$ (W)	300	221,86
<b>Napětí při max. zatížení</b>	$V_{\text{mp}}$ (V)	32,40	29,90
<b>Proud při max. zatížení</b>	$I_{\text{mp}}$ (A)	9,26	7,42
<b>Zkratový proud</b>	$I_{\text{sc}}$ (A)	9,78	7,91
<b>Napětí naprázdno</b>	$V_{\text{oc}}$ (V)	39,50	36,50
<b>Účinnost</b>	(%)	18,4	

\*Standard Test Condition – intenzita záření 1000 W/m<sup>2</sup>, teplota panelu 20°C, spektrum AM 1,5

\*\*Nominal Operating Cell Temperature – intenzita záření 1000 W/m<sup>2</sup>, teplota okolí 20 °C, rychlost větru 1 m/s

*Tabulka 3 – Mechanické parametry FV panelu GCL – M6/6 300Wp*

### Mechanické parametry

<b>FV článek</b>	Monokrystalický 156,75 x 156,75 (6 inches)
<b>Počet článků</b>	60 článků (6 x 10)
<b>Rozměry panelu D*Š*H (mm)</b>	1640 x 992 x 35 mm
<b>Váha</b>	18,1 kg

<sup>56</sup> *Planning and installing photovoltaic systems*, pozn. 45., s. 231.



Vzorec pro výpočet zastínění:<sup>57</sup>

$$d = b * \frac{\sin (180^\circ - \beta - \gamma)}{\sin \gamma} \quad (4)$$

$d$  (m) – vzdálenost mezi panely

$b$  (m) – výška panelu

$\beta$  (°) – úhel naklonění panelu od Země

$\gamma$  (°) – zenitový úhel (výška Slunce)

Pro mojí instalaci to znamená:

$$d = 992 * \frac{\sin (180 - 35 - 17)}{\sin 17} \cong 2\,674 \text{ mm}$$

Ideální sklon v našich zeměpisných souřadnicích je 35°, zenitový úhel se volí v referenci na zimní období, kdy se pohybuje kolem 17°.<sup>58</sup> Po zaokrouhlení hodnoty vzdálenosti, aby nedošlo k zastínění dvou panelů jsem se dostal na vzdálenost 2,7 m mezi dvěma FV panely, to znamená na střechu o využitelné šířce 17,6 m se vměstná 7 řad panelů. Na délku 47 m, po přidáním dvou bezpečnostních mezer, každá po jednom metru, vyšlo celkem 27 panelů na řadu. To znamená, že výsledný počet panelů GCL – M6/60 mé instalace na bytový dům je:

$$27 * 7 = 189 \text{ kusů}$$

Díky zvyhodněné nabídce za odebrané množství se dostáváme na cenu 630 810 Kč. Přesněji řečeno, jde o koupi 6 balení po 30 ks a dalších 9 kusů. K celkové ceně je ještě potřeba přičíst recyklační poplatek 2 835 Kč. Celková cena za panely je tedy 633 645 Kč bez DPH. Celkový výkon instalace je tedy:

$$P = 300 * 189 = 56\,700 \text{ Wp}$$

## 5.4.2 Strídač

Jak jsme se dozvěděli v teoretické části, FV panel je schopen vytvořit pouze stejnosměrné napětí/proud (DC) a jelikož většina spotřebičů v domácnosti, a především rozvodná síť pracuje se střídavým napětím/proudem (AC) proto je nutné DC „nastřídat“ na AC. Toho se docílí pomocí měničem, v tomto případě polovodičovým měničem, konkrétně strídačem.

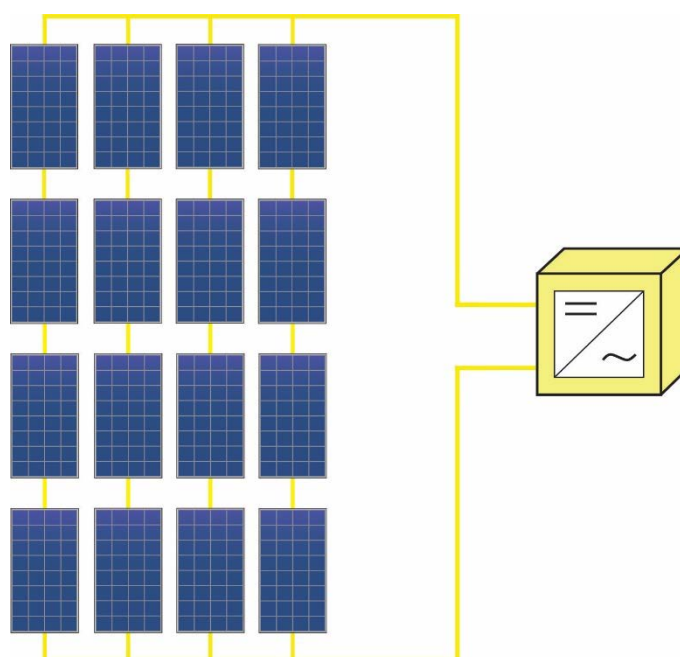
---

<sup>57</sup> *Planning and installing photovoltaic systems*, pozn. 45., s. 145.

<sup>58</sup> MASTNÝ, pozn. 25, s. 80

Instalace FV panelů mohou obsahovat různý počet střídačů. Záleží na druhu zapojení FV zařízení a velikosti instalace. Od jednoho střídače při centrálním zapojení, přes střídač pro každou větev až po střídač pro každý panel známý pod názvem modulový střídač.<sup>59</sup>

Po konzultaci s odborníky v daném oboru z PREměření, a.s. jsem se přiklonil k variantě centrální. To znamená, že všechna kabeláž z FV pole bude svedena do jednoho místa, kde bude střídač. Vybral jsem střídač od čínské společnosti s celosvětovou působností GoodWe, konkrétně GW50K-MT G2. Cena nabízená na českém trhu je 81 786 Kč bez DPH.



Obrázek 13 – FV zařízení s centrálním střídačem<sup>60</sup>

#### 5.4.2.1 Rozložení

Pro správné nastavení rozložení FV panelů jsem naplno ocenil software Polysun od švýcarské společnosti Vela Solaris AG, zkušební verze softwaru je volně dostupná na stránkách společnosti.<sup>61</sup> Po zadání parametrů FV panelů a střídače do softwaru mi pomohl s ověřením funkčnosti této kombinace. Důležitý parametr, který se odrazí na podobě zapojení celého systému je počet MPPT (sledovač bodu

<sup>59</sup> HASELHUHN, pozn. 3, s. 56-57

<sup>60</sup> *Planning and installing photovoltaic systems*, pozn. 45., s. 154

<sup>61</sup> Polysun software. *Velasolaris* [online]. Switzerland [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.velasolaris.com/shop/trial-version/?lang=en>

maximálního výkonu) ve střídači. Díky tomu zvyšuje výnos energie.<sup>62</sup> Čím více těchto sledovačů střídač má, tím více může vytvořit nezávislých okruhů FVE. Tím se maximalizuje zisk elektrické energie z FV instalace. Dříve se MPPT nepoužívaly, to znamenalo, že když došlo k zastínění jedné části FVE, tak se ovlivnil nejenom výkon zastíněné části, ale také ostatních nezastíněných, a to i v řádech jednotek procent. Dnes díky MPPT, i když je použito centrální zapojení, je celá FVE rozdělena na jednotlivé části, takže při zastínění jedné části se nepřenáší pokles výkonu na ostatní.

Zvolený střídač GW50K-MT G2 má čtyři MPPT. Ke dvěma MPPT lze připojit 3 stringy (řetězec sériově propojených článků) a k dalším dvěma 2 stringy. Na každý string se dá připojit libovolný počet FV panelů, samozřejmě pokud výsledné zapojení odpovídá dimenzování. U mé instalace na bytový dům, kde je 189 panelů, jsem dospěl k rozdělení jeden MPPT 3 stringy po 16 panelech, k dalšímu trackeru 3 stringy po 18 panelů a ke zbylým dvěma zařízením shodně 2 řetězce po 18 kusech.

*Tabulka 4 – Parametry střídače GoodWe GW50K-MT G2*

<b>Parametry</b>		
<b>Max. výkon FV</b>	(W)	65 000
<b>Jmenovitý výstupní výkon</b>	(W)	50 000
<b>Max. výstupní zdánlivý výkon</b>	(VA)	55 000
<b>Počet MPPT</b>	(-)	4
<b>Počet řetězců na MPPT</b>	(-)	3/3/2/2
<b>Účinnost max.</b>	(%)	98,7

### 5.4.3 Ostatní komponenty FVE

FV panely a střídač samozřejmě nejsou jediné komponenty v instalaci. Mezi jednu z nejdražších položek se řadí konstrukce, na které je potřeba FV moduly připevnit. Krom montážního systému je potřeba počítat s výdaji za elektro materiál, rozvaděč, různé ochrany a další instalační materiál. Cena těchto komponentů je už dost individuální a promítá se na nich spousta proměnných. Podařilo se mi získat přesné

<sup>62</sup> *Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaike* [online]. TZB: Ing. Bronislav Bechník, Ph.D., 2014 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaike/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaike>

ceny pro mojí instalaci, od jednoho českého dodavatele elektřiny a stavitele FVE na klíč, které jsem po jednotlivých položkách rozepsal v nákladech na pořízení instalace.

### **5.4.3.1 Konstrukce FV panelů**

Neméně důležitá součást instalace je konstrukce, na které jsou upevněny FV panely. Jelikož se jedná o bytový dům s plochou střechou, tak cena za konstrukci bude o poznání větší, než kdyby se jednalo o střechu s ideálním sklonem. Tam by stačili jen správně zvolené úchyty. U mého projektu je potřeba zvolit masivnější konstrukci, která odolá i nepříznivým vlivům počasí. Zvolil jsem konstrukci bez natáčení za Sluncem, jelikož pořizovací cena trackerů a konstrukce možné pohybu v konečném důsledku nepřinesou přidanou finanční hodnotu, a navíc tato možnost s sebou přináší další zátěž na střechu. Proto se tento systém na střechy používá jen velmi zřídka, spíše se s ním můžeme setkat u velkých FVE.

Cena konstrukce pro mnou zvolené panely se pohybuje okolo 1 932 Kč, to znamená, že cena 189 panelů to vychází na 365 148 Kč. S parametrem nosnosti střechy jsem v mé práci nepočítal. Při reálné instalaci by samozřejmě musel být zohledněn a bylo by potřeba udělat důkladný rozbor materiálu střechy. Váha jednoho panelu je rovna 18,1 kg s konstrukcí a zatížením bychom přesáhli 20 kg.

### **5.4.4 Práce a další služby**

Do této sekce spadají především položky týkající se lidské práci. To znamená doprava materiálu, montážní práce, zapojení elektroinstalace, vypracování projektové dokumentace, technická kontrola, provedení zkoušek, uvedení FVE do provozu. Je zde možné započítat administrativní kroky k získání licence od ERÚ, vyřízení podpory NZÚ a další případné kroky ke správnému a dlouhodobému fungování FVE.

## **5.5 Podpora – Nová zelená úsporám**

Na projekty spojené s úsporou energií v rodinných a bytových domech je možné získat dotaci přes program Nová zelená úsporám (NZÚ), které má v dílci Ministerstvo životního prostředí. Příspěvek na výstavbu fotovoltaických systémů na bytové domy je 12 500 Kč na kWp. Což by v mém případě při instalovaném výkonu 56,7 kWp znamenalo 700 000 Kč, což by byla téměř polovina vynaložených nákladů. Jenže dotace má i svá pravidla. Podpora je pouze pro projekty na území hl. m. Prahy,

což instalace splňuje. Jedna z dalších podmínek je nepřekročení instalovaného výkonu 30 kWp na číslo popisné, což by pro mě znamenalo rozdělení instalace na dva případně tři celky. Z tohoto důvodu jsem s dotací nepočítal u výsledné ceny za instalaci, ale pro představu jsem dotaci uvedl u návratnosti.<sup>63</sup>

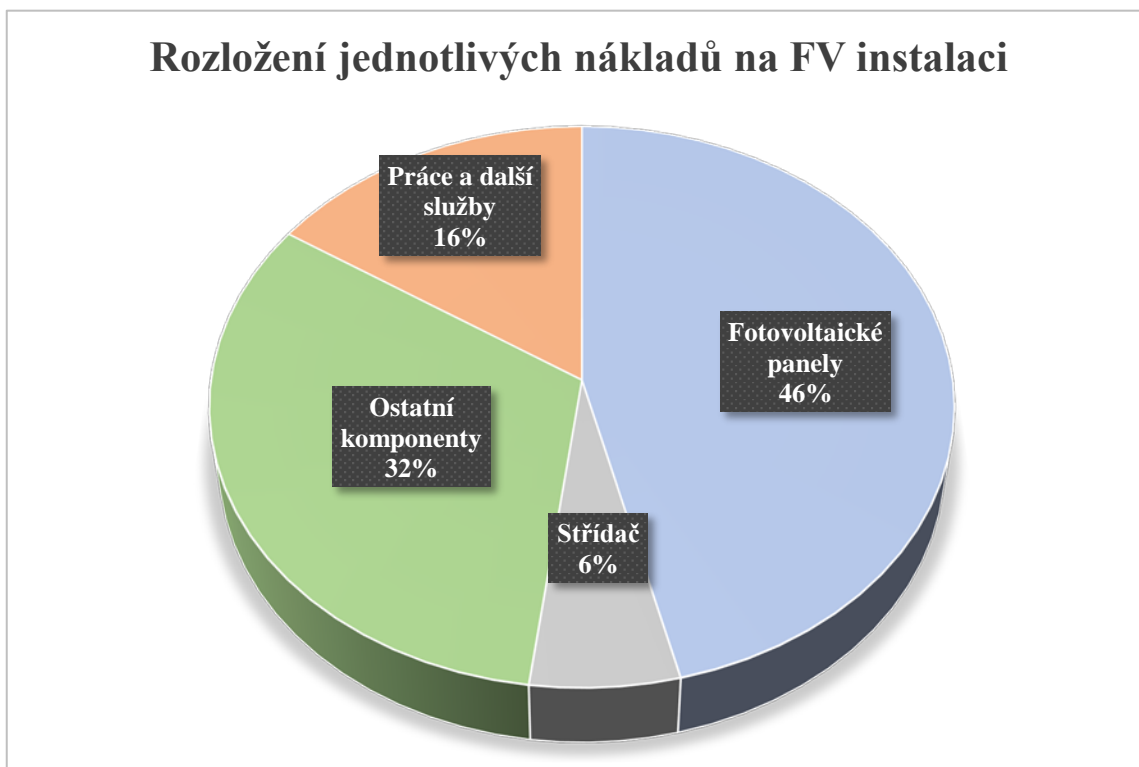
## 5.6 Celkové náklady FVE

Tabulka 5 – Celkové náklady na FV instalaci

		počet kusů	cena celkem bez DPH
<b>Fotovoltaické panely</b>			
GCL-M6/60 300Wp		189	633 645 Kč
<b>Střídač</b>			
GW50K-MT G2		1	81 786 Kč
<b>Ostatní komponenty</b>			
	cena za ks/sadu		
Montážní systém pro rovné střechy	1 932 Kč	189	365 148 Kč
Elektro materiál, rozvaděč, kabeláže a ostatní elektro	9 875 Kč	7	69 125 Kč
Přepěťová ochrana	4 987 Kč	1	4 987 Kč
Drobný instalační materiál a elektromateriál	3 985 Kč	1	3 985 Kč
<b>Práce a další služby</b>			
Projektová dokumentace, revize, zpráva a ostatní zkoušky	5 890 Kč	1	5 890 Kč
Montážní práce	165 422 Kč	1	165 422 Kč
Doprava osob, logistika materiálu a technologií	10 990 Kč	4	43 960 Kč
<b>Cena sestavy bez DPH</b>			<b>1 373 948 Kč</b>
<b>DPH 15 %</b>			<b>206 092 Kč</b>
<b>Cena celkem</b>			<b>1 580 040 Kč</b>

<sup>63</sup>Závazné pokyny pro žadatele BD-zateplení-zdroje-soláry-rekuperace [online]. Ministerstva životního prostředí: Nová zelenám úsporám, 2017 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/dokumenty/detail/?id=590>

## Rozložení jednotlivých nákladů na FV instalaci



Graf 4 – Rozložení jednotlivých nákladů na FV instalaci

### 5.6.1 Hodnocení nákladů

Není překvapením, že téměř polovinu ceny FVE zaujímají FV panely. Třetina ceny je poté vynaložena za položku s označením „ostatní komponenty“, to je především počtem konstrukcí, které je potřeba použít. Tato položka by byla řádově nižší, kdyby se jednalo o umístění FV modulů na střechu se sklonem. Okolo 16 % z celkových nákladů je potřeba vynaložit za „práci a další služby“. Jelikož se jedná relativně o velkou instalaci, cena za montáž rozhodně není zanedbatelná. Díky zapojení s centrálním střídačem, stačí použít pouze jeden střídač a na výsledné ceně se podílí pouze 6 %.

Kdybych u instalace použil akumulaci energie, například pomocí baterií, byla by pořizovací cena ještě o poznání vyšší. Je zde samozřejmě prostor na snížení celkových nákladů na FV instalaci, pokud by si zákazník instaloval FVE sám. Ale bez odborné asistence stejně nejdou určité úkony jako připojení na síť provést. Osobně doporučuji při tak velké instalaci nechat celý projekt na odbornících.

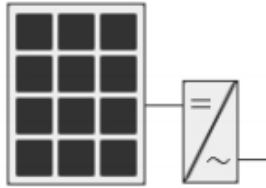
## 5.7 Výstupní zpráva ze SW Polysun

Pro výpočet byl použit software Polysun, který nejenom, že umí zpracovat vložené hodnoty, ale také je umí graficky znázornit. První krok při tvorbě projektu FV instalace v Polysunu je potřeba zadat místo instalace, to u mě znamená hl. m. Prahu. Dále je nutné zvolit druh panelů. Polysun má databáze všech potřebných komponentů pro výstavbu FVE, ale lze i podle libosti přidávat další. To byl můj případ, kdy jsem si z katalogu mého zvoleného panelu GCL-M6/60 přepsal parametry do programu. Stejně tak jsem to udělal se střídače. Následně už stačí doladit jen detaily podle aktuální potřeby. Abych jenom čistě nevyroběl elektřinu, přidal jsem do systému spotřebu, konkrétně jsem si rozpočítal mnou zvolený bytový dům na byty. Na jedno patro to znamená 12 bytů, celkově jsem se dopracoval k číslu 72 bytových jednotek. Průměrnou spotřebu bytu jsem si zvolil 3 000 kWh, to nám dává celkovou roční spotřebu domu 216 000 kWh. Do Polysunu jsem chtěl zadat spotřebu na každý byt, ale je zde nastaven limit spotřebitelských profilů, proto jsem ji rozdělil aspoň podle vchodů do domu. A počítám vlastně s tím, že spotřeba je jako jeden velký celek, nerozlišuji, že má v domě svůj vlastní elektroměr. Jinak spotřeba není pro můj závěr ze zprávy podstatná, je to jen orientační prvek.

# Professional Report

## Project - Bytový dům, Praha

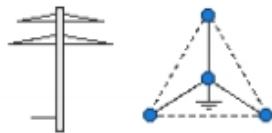
---



Photovoltaics: GCL-M6/60 300  
Number of modules: 189  
Total nominal power DC: 56.7 kW



Number of electricity consumption profiles: 3  
Total consumption of the profiles: 216,000 kWh



Electric Grid: Three-phase (230V/400V, 50 Hz, WYE)  
Local grid voltage: 400 V

Feed-in power limitation: no

---

### Location of the system

Czech Republic  
PRAHA  
Longitude: 14.43°  
Latitude: 50.1°  
Elevation: 256 m

---

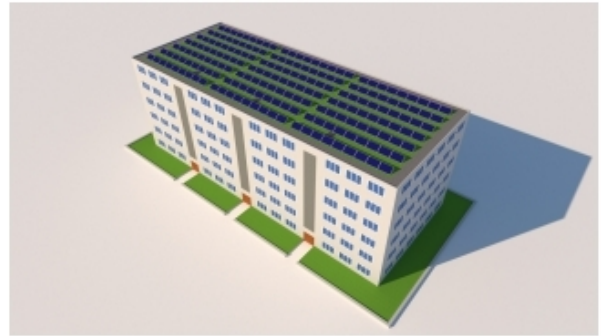
### This report has been created by:

Trial User



# Professional Report

## Photograph of property



## System overview (annual values)

Total electricity consumption [Ecs]	216,000 kWh
-------------------------------------	-------------

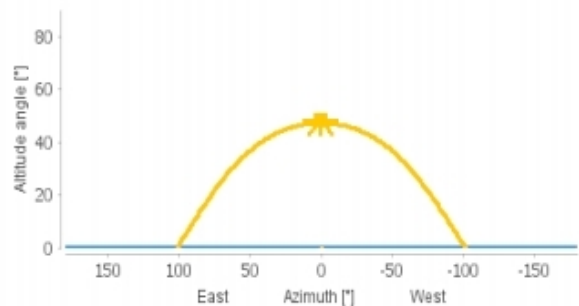
## Overview photovoltaics (annual values)

Total gross area	308.1 m <sup>2</sup>
Energy production DC [Qpvf]	58,650.3 kWh
Energy production AC [Qinv]	57,635.5 kWh
Total nominal power DC	56.7 kW
Performance ratio	84 %
Specific annual yield	1,016 kWh/kWp
Phase imbalance	0 kVA
Reactive energy [Qinvr]	0 kvarh
Apparent energy [Qinva]	57,635.5 kVAh
CO2 savings	30,916 kg

## Overview electricity (annual values)

Annual consumption	216,000 kWh
Self-consumption	51,910 kWh
Self-consumption fraction	90.1 %
Degree of self-sufficiency	24 %

## Horizon line



# Professional Report

## Meteorological data-Overview

Average outdoor temperature	9.6 °C
Global irradiation, annual sum	1,060 kWh/m <sup>2</sup>
Diffuse irradiation, annual sum	572 kWh/m <sup>2</sup>

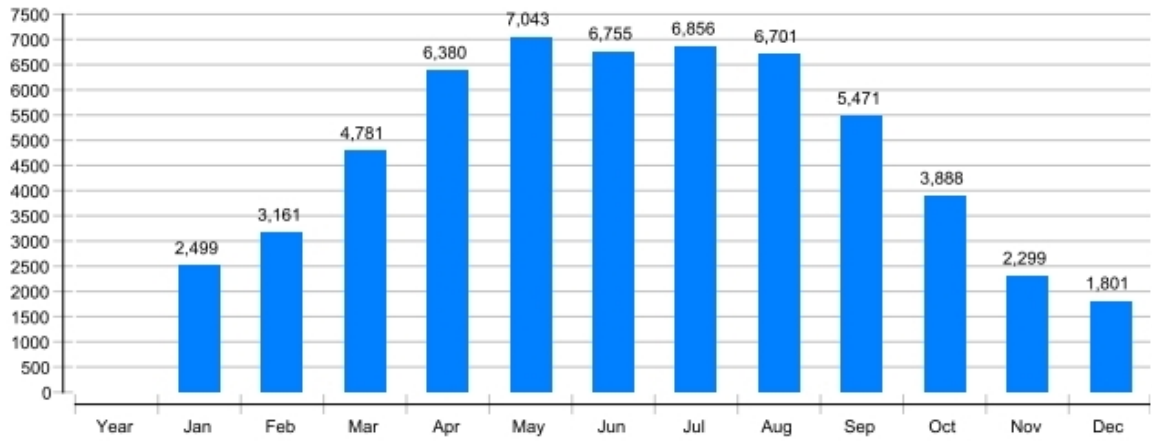
## Component overview (annual values)

Photovoltaics	GCL-M6/60 300	
Manufacturer		GCL System Integration Technology Co., Ltd.
Data Source		u1000000
Number of modules		189
Number of modules (layout)		189
Total nominal power DC	kW	56.7
Total gross area	m <sup>2</sup>	308.07
Inverter 1: Name		GW50K-MT G2
Inverter 1: Manufacturer		GoodWe Power Supply Technology Co.,Ltd.
Inverter 1: Number of phases		3
Layout 1: Number of inverters		1
Layout 1: A number of strings		3
Layout 1: A modules per string		16
Layout 1: A orientation	°	0
Layout 1: A tilt angle	°	45
Layout 1: B number of strings		3
Layout 1: B modules per string		16
Layout 1: B orientation	°	0
Layout 1: B tilt angle	°	45
Layout 1: C number of strings		3
Layout 1: C modules per string		16
Layout 1: C orientation	°	0
Layout 1: C tilt angle	°	45
Layout 1: D number of strings		3
Layout 1: D modules per string		15
Layout 1: D orientation	°	0
Layout 1: D tilt angle	°	45
Total nominal power AC	kVA	55
Energy production DC [Qpvf]	kWh	58,650
Energy production AC [Qinv]	kWh	57,636
Specific annual yield	kWh/kWp	1,016
Reactive energy [Qinvr]	kvarh	0
Apparent energy [Qinva]	kVAh	57,636
Cable losses [Qcbl]	kWh	469
Derating inverter [Qderi]	kWh	0
Derating losses [Qder]	kWh	0

# Professional Report

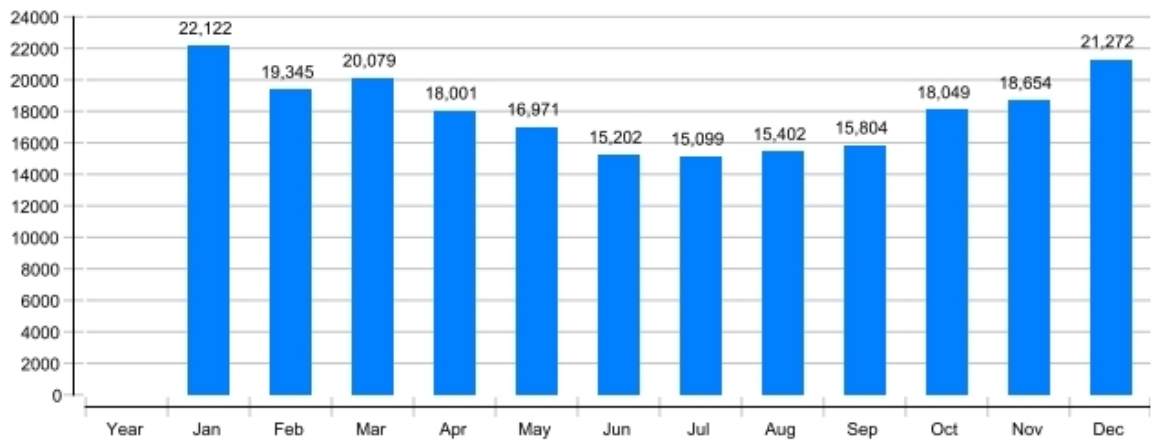
Yield Photovoltaics AC [Qinv]

kWh



Total electricity consumption [Ecs]

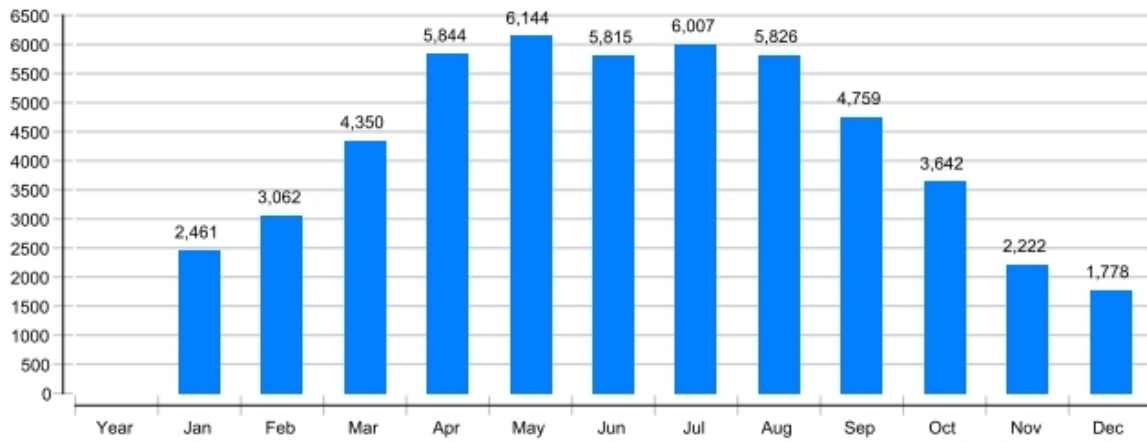
kWh



# Professional Report

## Self-consumption [Eocs]

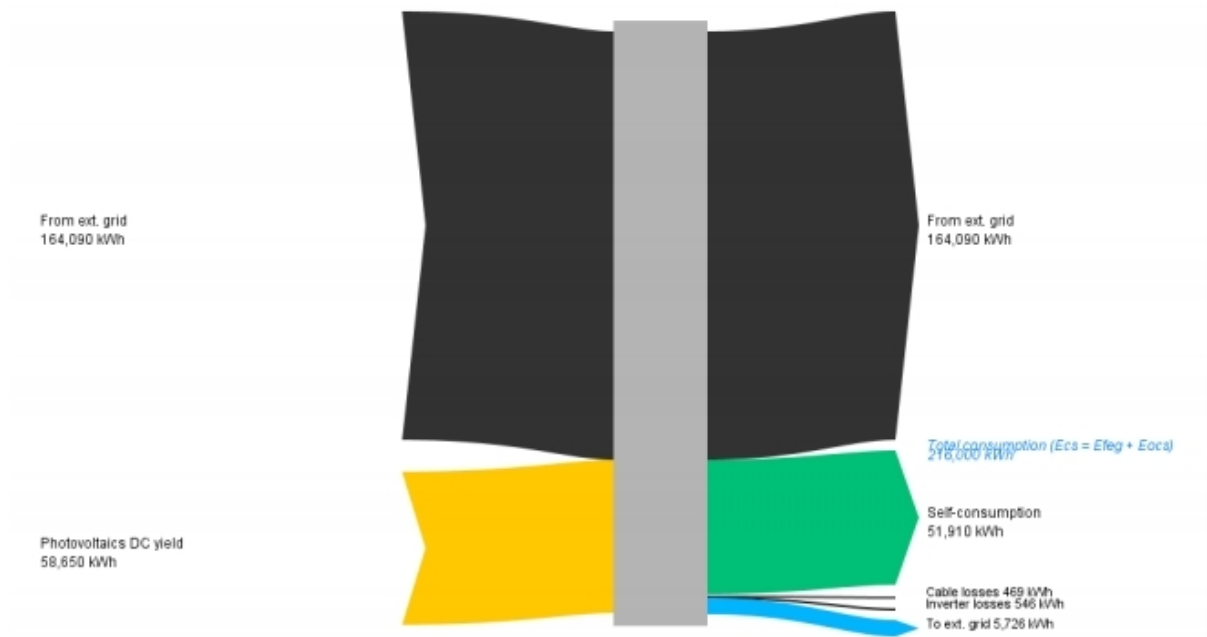
kWh



	Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
<b>Yield Photovoltaics DC [Qpvf]</b>													
kWh	58650	2549	3219	4866	6484	7162	6872	6972	6812	5564	3959	2349	1842
<b>Radiation onto module area [Esol PV]</b>													
kWh	372780	15337	19509	30019	40722	45990	44672	45511	44650	35660	24997	14536	11177
<b>Yield Photovoltaics AC [Qinv]</b>													
kWh	57636	2499	3161	4781	6380	7043	6755	6856	6701	5471	3888	2299	1801
<b>Total electricity consumption [Ecs]</b>													
kWh	216000	22122	19345	20079	18001	16971	15202	15099	15402	15804	18049	18654	21272
<b>Self-consumption [Eocs]</b>													
kWh	51910	2461	3062	4350	5844	6144	5815	6007	5826	4759	3642	2222	1778

# Professional Report

## Energy flow diagram (annual balance)



### 5.7.1 Hodnocení zprávy

Z výstupní zprávy bych chtěl vypíchnout několik údajů, které jsou pro instalaci zásadní. Některé hodnoty jsem již zmínil, další jsou vypočítané pomocí softwaru.

Tabulka 6 – Výsledky FV instalace

<b>Počet FV panelů</b>	(kus)	189
<b>Celková plocha FV panelů</b>	(m <sup>2</sup> )	308,1
<b>Výkon FV panelů DC</b>	(kW)	56,7
<b>Elektrická produkce DC</b>	(kWh)	58650,3
<b>Elektrická produkce AC</b>	(kWh)	57635,5
<b>Výkonnostní koeficient</b>	(%)	84
<b>Roční zisk z 1 kWp</b>	(kWh)	1016
<b>Ušetřené CO<sub>2</sub></b>	(kg)	30916

Krom hodnot o výkonu a produkce elektřiny, jsem do této tabulky zařadil i parametr provozní výkonnost (*PR* – *performance ratio*). Tomuto ukazateli se přezdívá faktor kvality a je to základní kontrolní kritérium pro hodnocení provozu FVE. Výpočet je definován následující rovnicí:<sup>64</sup>

$$PR = \frac{E}{((G_E - U_o) * A * E_{ffm})} \quad (\%) \quad (5)$$

*PR* (%) – provozní výkonnost

*E* (Wh) – celková vyrobená elektrická energie

*G<sub>E</sub>* (Wh/m<sup>2</sup>) – celková dopadající energie slunečního záření

*A* (m<sup>2</sup>) – celková plocha FV panelů

*E<sub>ffm</sub>* (%) – účinnost FV panelů dle výrobce

*U<sub>o</sub>* (Wh/m<sup>2</sup>) – celkové množství energie slunečního záření, kterou není možno invertovat na elektrickou energii

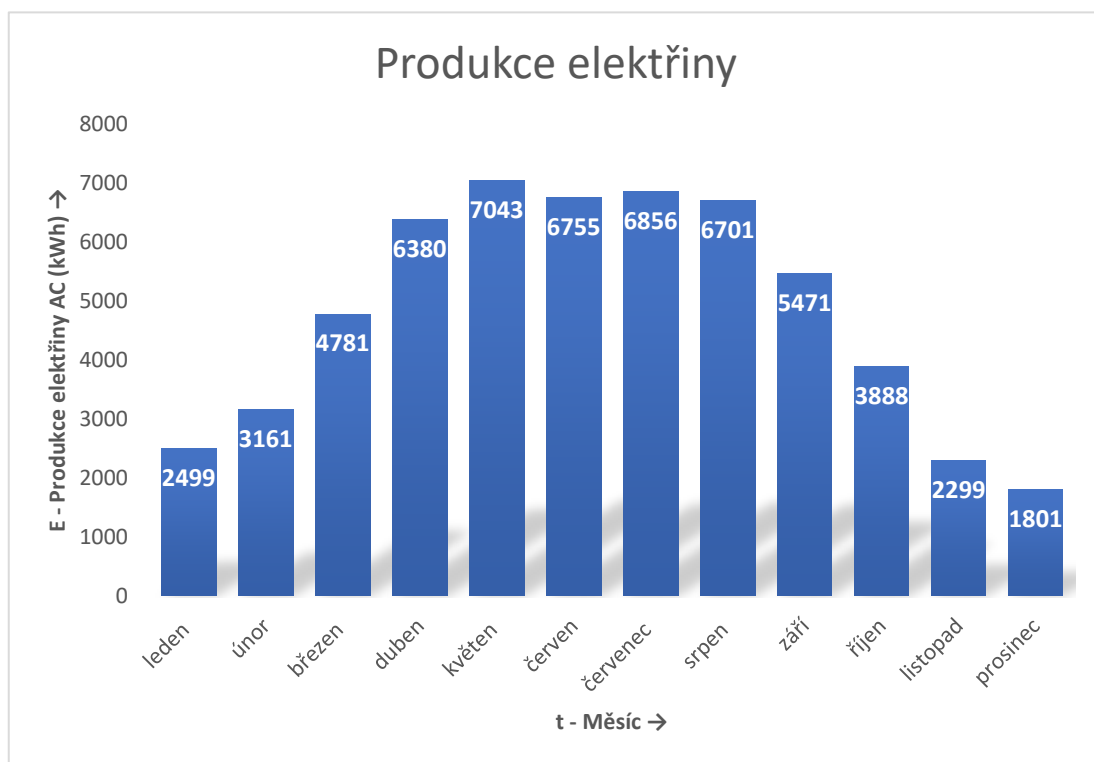
Provozní výkonnost vyšla 84 %, kvalitní FVE vycházejí okolo 80 %, to znamená, že v tomto ohledu je na tom moje instalace velmi dobře.

<sup>64</sup> MASTNÝ, pozn. 12, s. 77

Další zajímavé číslo je zisk elektrické energie 1 016 kWh z jednoho kWp. Zde hrála roli vysoká účinnost zvoleného panelu, která je 18,4 %. Ušetřené množství oxidu uhličitého provozem FVE 30 tun ročně je z ekologického hlediska velmi dobré.

Spotřebu elektřiny bytového domu bych se nechtěl zaobírat detailně, jelikož jsem ji nastavil pouze tak, aby byla větší než zisk elektrické energie z FVE. Zajímavé je, ale kolik spočítal Polysun hodnotu elektřiny využitou v bytovém domě, je to 90,1 %, to znamená 51 910 kWh. Okolo 10 % tedy jde mimo spotřebovanou elektřinu nájemníků domu. Okolo 1 MWh se ztratí ve ztrátách a 5 726 kWh jako přebytek putuje do distribuční sítě. Tento jev je krásně vidět na poslední stránce zprávy, kde je diagram toku energie ve FV systému.

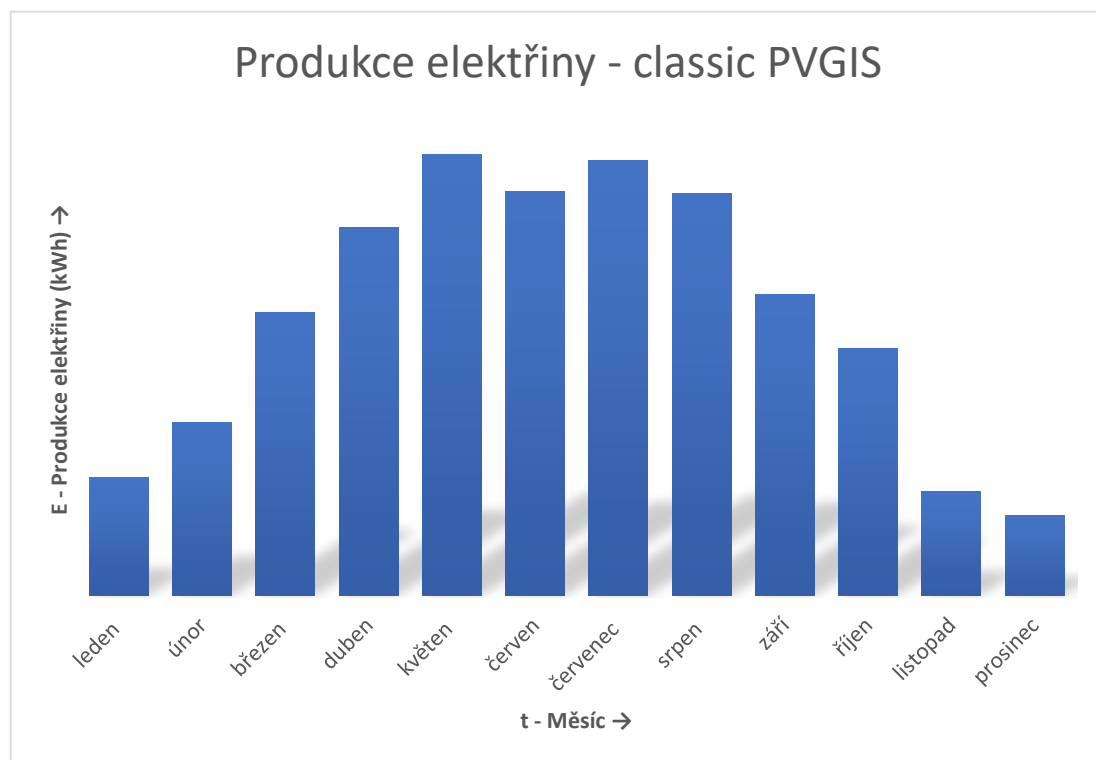
Co je, ale pro samotnou instalaci velmi důležité, je rozvržení výroby elektřiny z FV panelů během roku. Je zajímavé, že nejvyšších hodnot dosahuje výroba elektřiny, konkrétně energie již po opuštění střídače, to znamená AC, v měsíci květnu. Osobně jsem vrchol čekal až v letních měsících, ale pokles mohl nastat díky zvýšení teploty FV panelů a tím pádem snížením účinnosti celé FVE.



Graf 5 – Produkce elektřiny FV instalace podle Polysunu

## 5.8 Fotovoltaický geografický informační systém – PVGIS

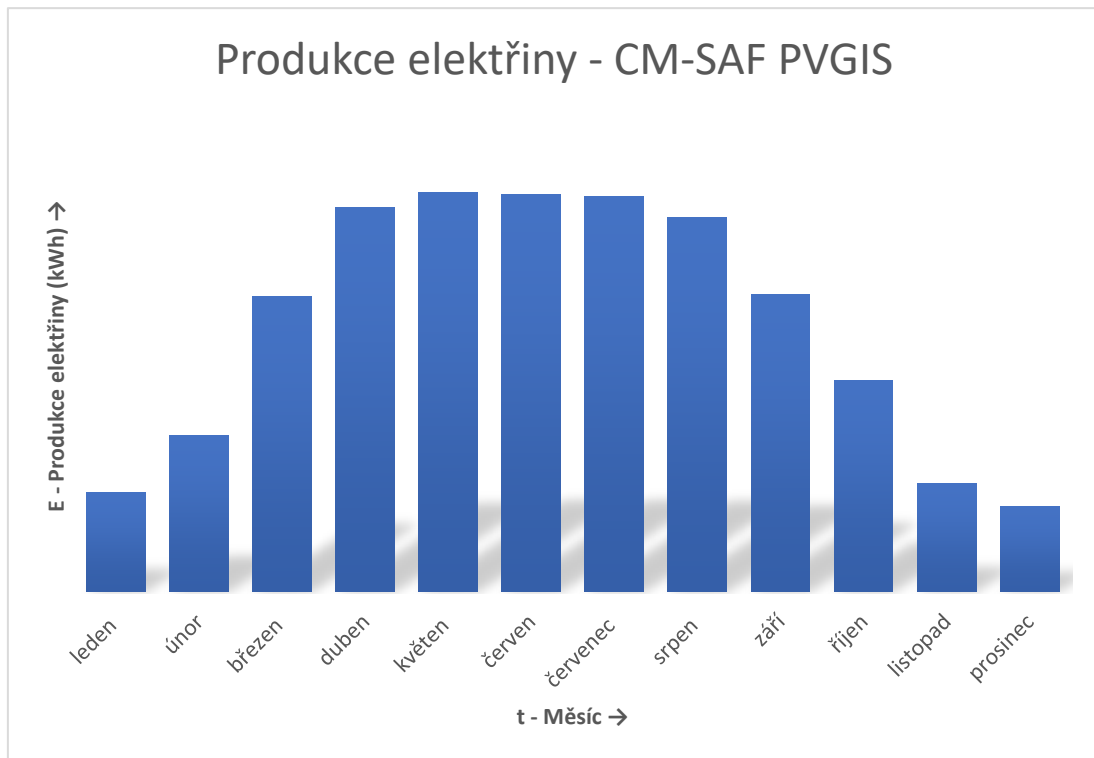
Nechtěl jsem zůstat pouze u jednoho výpočetního softwaru, a proto jsem zvolil ještě pro kontrolu alternativu. Jedná se o volně přístupný software ve webové aplikaci nesoucí jméno PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). Není zde taková možnost individuálních zásahů do systému, jde čistě o zjištění zisku z FVE o určitém výkonu na místě instalace. V programu je možné nastavit dva druhy získávání dat, což je velmi zajímavé. První, starší, označený jako PVGIS classic pracuje s daty z meteorologických stanic na zemi. Ten druhý, novější, PVGIS CM-SAF (Climate Monitoring – Satellite Application Facility) jak již název napovídá pracuje s výpočty založenými na satelitních datech. Pro ukázkou jsem vložil, jak se může proměnit průběh roční produkce elektřiny z mé 56,7 kW instalace. Výnosy se dají srovnávat s výpočty z Polysunu, jelikož se v PVGIS nenastavuje druh panelu a další ovlivňující okolnosti. Ale jednotlivé PVGIS výpočty se dají srovnávat mezi sebou. Zajímavé krom trochu jiného průběhu produkce přes léto jsou zajímavá i celková čísla. Celkový roční zisk z FVE u výpočtu PVGIS classic je 49 800 kWh, zato u PVGIS CM-SAF je to 54 300 kWh. Pokud bychom vzali jako referenční PVGIS CM-SAF, tak došlo ke snížení o 8,3 %.<sup>65</sup>



Graf 6 – Produkce elektřiny FV instalace podle classic PVGIS

<sup>65</sup>Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) [online]. European Commission, 2004 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/databasehelp\\_en.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/databasehelp_en.html)





Graf 7 – Produkce elektřiny FV instalace podle CM-SAF PVGIS

Podle vývojářů aplikace PVGIS je přesnější novější výpočet pracující s daty z družic.<sup>66</sup> Polysun pracuje s daty ze softwaru Meteonorm, který kalkuluje data jak z meteorologických stanic na zemi, tak z geostacionárních družic a přidává k tomu ještě údaje o aerosolech. Je otázka, jaký systém je nejpřesnější. Já se příkládáním k Polysunu, proto jsem s ním počítal v mé práci.

## 5.9 Ekonomika projektu

Zvolil jsem si čtyři ekonomické ukazatele projektu, prostá doba návratnosti (doba splacení investice)  $T_s$ , reálná doba návratnosti  $T_{sd}$ , čistá současná hodnota NPV a vnitřní výnosové procento IRR.

Nezbytné údaje pro vypočtení doby návratnosti FV instalace je pořizovací cena instalace, cena elektřiny a výkup elektřiny. Cena mého FV kompletu je 1 580 040 Kč. Výkupní cena přebytků elektrické energie z FVE se pohybuje od 400 Kč za MWh do 1 000 Kč/MWh. Cena závisí na dodavateli a jestli jste odběratelem od daného dodavatele. Zvolil jsem průměr a to 600 Kč/MWh.

Poslední nutná informace pro výpočet je cena elektřiny. Samozřejmě tady také záleží na dodavateli. Jak již jsem předesílal v odstavci o virtuální baterii, i tady je

<sup>66</sup>Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), pozn. 65

potřeba rozlišit jaké položky na faktuře za elektřinu je schopna FVE ovlivnit a jaké položky budeme muset platit i přes pořízení FVE. Cena za kWh se může velmi lišit, Český statistický úřad počítá že v roce 2019 bude průměrná cena elektřiny 4,58 Kč za 1 kWh. Já použiji aktuální průměrnou hodnotu, která je rovna 4,28 Kč za 1 kWh. Ale je potřeba počítat pouze se silovou elektřinou, ta momentálně zabírá 51,5 % celkové ceny elektřiny. To znamená, že finální cena elektřiny použitá pro dobu návratnosti investice je 2,2042 Kč za 1 kWh.<sup>676869</sup>

Prostou dobu návratnosti jsem vypočítal pro dvě možnosti, první možnost jsem řešil pro plnou cenu instalace, to znamená 1 580 040 Kč. Pro zajímavost jsem spočítal i dobu návratnosti, pokud bychom dosáhli na dotaci, úskalí pro zisk dotace jsem vysvětloval v odstavci týkající se podpory NZÚ. To znamená, že bychom se po odečtení dotace 700 000 Kč, dostali na výslednou cenu za instalaci 880 040 Kč. Ostatní ekonomické ukazatele jsem řešil pouze pro možnost bez dotace.

Výpočty jsem dělal pro různé roční přebytky elektřiny. Elektřinu, co by mohla být dodána do sítě jsem bral jako procenta z vyrobené a již transformované elektřiny a po odečtení ztrát, to znamená 57 635,5 kWh. Pro každý rok jsem počítal se stejným ziskem z FV panelů. Začal jsem na možnost, kdy nenastal žádný přebytek, celá vyrobená elektřina by byla spotřebována v domě. To by byl velmi pozitivní výsledek, bohužel nepravděpodobný. Takto jsem postupoval pravidelně po 5 % až do 30 % ročního přebytku. Polysun například počítal s hodnotou 9,935 % přetoku do distribuční sítě z celkové vyrobené elektřiny.

### 5.9.1 Prostá doba návratnosti

Prostá doba návratnosti je úplně základní ukazatel, vypočte se jako podíl investičních výdajů *IN* projektu ku ročním přínosům projektu *CF* (cash flow, změna peněžních toků pro realizaci projektu).<sup>70</sup>

---

<sup>67</sup>Ceny elektrické energie. *Energie123* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z:

<https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>

<sup>68</sup> Průměrná cena elektřiny za kWh v roce 2019 zdražila na 4,6 korun. Kdo ji prodává levněji?. *Elektrina* [online]. Redakce Elektrina.cz, 2019 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/cena-elektřiny-za-kwh-2019-cez-eon-pre-a-dalsi-dodavatele>

<sup>69</sup> Vyúčtování elektřiny: Jak vyčíst z faktury za energie vše, co potřebujete. *Elektrina.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/vyuctovani-elektřiny-kam-se-koukat-ve-fakture>

<sup>70</sup> Slovník ekonomických pojmů. *Inkapo* [online]. 2018 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <http://www.inkapo.cz/odborna-sekce/slovník-pojmu/ekonomika>

$$T_s = \frac{IN}{CF} \quad (\text{roky}) \quad (6)$$

$T_s$  (roky) – prostá doba návratnosti

IN (Kč) – investiční výdaje projektu

CF (Kč) – roční přínosy projektu

Tabulka 7 – Prostá doba návratnosti investice

**Prostá doba návratnosti  $T_s$**

Roční přebytek elektřiny (%)	0	5	Polysun (9,935)	10	15	20	25	30
Bez dotace	12.44	12.96	13.46	13.47	14.01	14.60	15.24	15.94
S dotací	6.93	7.22	7.49	7.50	7.80	8.13	8.49	8.88

Příklad výpočtu prosté doby návratnosti, roční přebytek elektřiny 9,935 % (Polysun), bez dotace:

$$T_s = \frac{1\,580\,404}{117\,419} = 13,46 \text{ let}$$

Hodnota ročního výnosu (CF) 117 419 Kč, se skládá se dvou položek. Za první jsou to ušetřené náklady za vlastní spotřebu 114 419 Kč a za druhé je to zisk z roční přebytečné energie (5 MWh) 3 000 Kč.

Prostou dobu návratnosti jsem ještě znázornil graficky v tabulkách 8 a 9. Cenu elektřiny jsem počítal ve stálých hodnotách, chtěl jsem tím vyhnout špatné predikci. Výsledky mi vyšly podle osobního očekávání. Doba návratnosti je nejnížší u možnosti s nulovým přebytkem, zde se při pořizovací ceně bez dotace dostáváme do kladných čísel (zisk z investice je větší než počáteční investice) k ziskovosti po 13 roku funkčnosti FV panelů, s dotací dokonce o 6 let dříve, po 7 letech provozu. Za 16 let, respektive za 9 let je i instalace s přebytkem 30 % v kladných číslech. Já se přikláním k nejpravděpodobnější variantě kolem 10 %, to znamená varianta Polysunu. Zde se dostávám k návratnosti investice po 14 letech u instalace bez dotace a po 8 letech u instalace s dotací.

Ve svých výpočtech jsem nepočítal s poklesem účinnosti panelů, ani s výdaji za údržbu. Stejně jako s cenou elektřiny by to bylo na hlubší analýzu a velkou možností chybovostí. Počítám, že životnost celého zařízení je minimálně 25 let. To se shoduje i s tím jaké záruky poskytuje výrobce. GCL uvádí záruku 10 let na produkt a 25 let na pokles výkonu. Je otázkou jak dlouho vydrží střídač, to je asi nejkritičtější komponent celé instalace.

Tabulka 8 – Prostá doba návratnosti investice bez dotace (graficky)

Požizovací cena	(Kč)	1 580 040	1 580 040	1 580 040	1 580 040	1 580 040	1 580 040	1 580 040	1 580 040
Roční přebytek elektřiny	(%)	0	5	Polysun (9,935)	10	15	20	25	30
<b>za 1 rok</b> Vyrobena elektřina AC	(kWh)	57 635.5	57 635.5	57 635.5	57 635.5	57 635.5	57 635.5	57 635.5	57 635.5
Přebytek	(kWh)	0	2 881.8	5 726.1	5 763.6	8 645.3	11 527.1	14 408.9	17 290.7
Přebytek – celé jednotky	(MWh)	0	2	5	5	8	11	14	17
Zisk z přebytku	(Kč)	0	1 200	3 000	3 000	4 800	6 600	8 400	10 200
Vlastní spotřeba	(MWh)	57 635.5	54 753.7	51 909.4	51 872.0	48 990.2	46 108.4	43 226.6	40 344.9
Cena silové elektřiny	(Kč za kWh)	2.2042	2.2042	2.2042	2.2042	2.2042	2.2042	2.2042	2.2042
Ušetřené náklady za vlastní spotřebu	(Kč)	127 040	120 688	114 419	114 336	107 984	101 632	95 280	88 928
Celkem zisk z provozu	(Kč)	127 040	121 888	117 419	117 336	112 784	108 232	103 680	99 128
Bilance	(Kč)	-1 453 000	-1 458 152	-1 462 621	-1 462 704	-1 467 256	-1 471 808	-1 476 360	-1 480 912
<b>Za 2 roky</b> Celkem zisk z provozu	(Kč)	254 080	243 776	234 837	234 672	225 568	216 464	207 360	198 256
Bilance	(Kč)	-1 325 960	-1 336 264	-1 345 203	-1 345 368	-1 354 472	-1 363 576	-1 372 680	-1 381 784
<b>Za 3 roky</b> Celkem zisk z provozu	(Kč)	381 121	365 664	352 256	352 008	338 352	324 696	311 040	297 384
Bilance	(Kč)	-1 198 919	-1 214 376	-1 227 784	-1 228 032	-1 241 688	-1 255 344	-1 269 000	-1 282 656
<b>Za 4 roky</b> Celkem zisk z provozu	(Kč)	508 161	487 553	469 675	469 345	451 137	432 929	414 721	396 512
Bilance	(Kč)	-1 071 879	-1 092 487	-1 110 365	-1 110 695	-1 128 903	-1 147 111	-1 165 319	-1 183 528
<b>Za 5 let</b> Celkem zisk z provozu	(Kč)	635 201	609 441	587 094	586 681	563 921	541 161	518 401	495 641
Bilance	(Kč)	-944 839	-970 599	-992 946	-993 359	-1 016 119	-1 038 879	-1 061 639	-1 084 399
<b>Za 6 let</b> Celkem zisk z provozu	(Kč)	762 241	731 329	704 512	704 017	676 705	649 393	622 081	594 769
Bilance	(Kč)	-817 799	-848 711	-875 528	-876 023	-903 335	-930 647	-957 959	-985 271

<b>Za 7 let</b>	Celkem zisk z provozu	(Kč)	889 281	853 217	821 931	821 353	789 489	757 625	725 761	693 897
	Bilance	(Kč)	-690 759	-726 823	-758 109	-758 687	-790 551	-822 415	-854 279	-886 143
<b>Za 8 let</b>	Celkem zisk z provozu	(Kč)	1 016 321	975 105	939 350	938 689	902 273	865 857	829 441	793 025
	Bilance	(Kč)	-563 719	-604 935	-640 690	-641 351	-677 767	-714 183	-750 599	-787 015
<b>Za 9 let</b>	Celkem zisk z provozu	(Kč)	1 143 362	1 096 993	1 056 769	1 056 025	1 015 057	974 089	933 121	892 153
	Bilance	(Kč)	-436 678	-483 047	-523 271	-524 015	-564 983	-605 951	-646 919	-687 887
<b>Za 10 let</b>	Celkem zisk z provozu	(Kč)	1 270 402	1 218 882	1 174 187	1 173 362	1 127 841	1 082 321	1 036 801	991 281
	Bilance	(Kč)	-309 638	-361 158	-405 853	-406 678	-452 199	-497 719	-543 239	-588 759
<b>Za 11 let</b>	Celkem zisk z provozu	(Kč)	1 397 442	1 340 770	1 291 606	1 290 698	1 240 626	1 190 553	1 140 481	1 090 409
	Bilance	(Kč)	-182 598	-239 270	-288 434	-289 342	-339 414	-389 487	-439 559	-489 631
<b>Za 12 let</b>	Celkem zisk z provozu	(Kč)	1 524 482	1 462 658	1 409 025	1 408 034	1 353 410	1 298 786	1 244 162	1 189 537
	Bilance	(Kč)	-55 558	-117 382	-171 015	-172 006	-226 630	-281 254	-335 878	-390 503
<b>Za 13 let</b>	Celkem zisk z provozu	(Kč)	1 651 522	1 584 546	1 526 443	1 525 370	1 466 194	1 407 018	1 347 842	1 288 666
	Bilance	(Kč)	<b>71 482</b>	<b>4 506</b>	-53 597	-54 670	-113 846	-173 022	-232 198	-291 374
<b>Za 14 let</b>	Celkem zisk z provozu	(Kč)	1 778 562	1 706 434	1 643 862	1 642 706	1 578 978	1 515 250	1 451 522	1 387 794
	Bilance	(Kč)	<b>198 522</b>	<b>126 394</b>	<b>63 822</b>	<b>62 666</b>	-1 062	-64 790	-128 518	-192 246
<b>Za 15 let</b>	Celkem zisk z provozu	(Kč)	1 905 603	1 828 322	1 761 281	1 760 042	1 691 762	1 623 482	1 555 202	1 486 922
	Bilance	(Kč)	<b>325 563</b>	<b>248 282</b>	<b>181 241</b>	<b>180 002</b>	<b>111 722</b>	<b>43 442</b>	-24 838	-93 118
<b>Za 16 let</b>	Celkem zisk z provozu	(Kč)	2 032 643	1 950 211	1 878 700	1 877 378	1 804 546	1 731 714	1 658 882	1 586 050
	Bilance	(Kč)	<b>452 603</b>	<b>370 171</b>	<b>298 660</b>	<b>297 338</b>	<b>224 506</b>	<b>151 674</b>	<b>78 842</b>	<b>6 010</b>

Tabulka 9 – Prostá doba návratnosti investice s dotací (graficky)

Požizovací cena	(Kč)	880 040	880 040	880 040	880 040	880 040	880 040	880 040	880 040
Roční přebytek elektřiny	(%)	0	5	Polysun (9,935)	10	15	20	25	30
<b>za 1 rok</b> Vyrobena elektřina AC	(kWh)	57 635.5	57 635.5	57 635.5	57 635.5	57 635.5	57 635.5	57 635.5	57 635.5
Přebytek	(kWh)	0	2 881.8	5 726.1	5 763.6	8 645.3	11 527.1	14 408.9	17 290.7
Přebytek – celé jednotky	(MWh)	0	2	5	5	8	11	14	17
Zisk z přebytku	(Kč)	0	1 200	3 000	3 000	4 800	6 600	8 400	10 200
Vlastní spotřeba	(MWh)	57 635.5	54 753.7	51 909.4	51 872.0	48 990.2	46 108.4	43 226.6	40 344.9
Cena silové elektřiny	(Kč za kWh)	2.2042	2.2042	2.2042	2.2042	2.2042	2.2042	2.2042	2.2042
Ušetřené náklady za vlastní spotřebu	(Kč)	127 040	120 688	114 419	114 336	107 984	101 632	95 280	88 928
Celkem zisk z provozu	(Kč)	127 040	121 888	117 419	117 336	112 784	108 232	103 680	99 128
Bilance	(Kč)	-753 000	-758 152	-762 621	-762 704	-767 256	-771 808	-776 360	-780 912
<b>Za 2 roky</b> Celkem zisk z provozu	(Kč)	254 080	243 776	234 837	234 672	225 568	216 464	207 360	198 256
Bilance	(Kč)	-625 960	-636 264	-645 203	-645 368	-654 472	-663 576	-672 680	-681 784
<b>Za 3 roky</b> Celkem zisk z provozu	(Kč)	381 121	365 664	352 256	352 008	338 352	324 696	311 040	297 384
Bilance	(Kč)	-498 919	-514 376	-527 784	-528 032	-541 688	-555 344	-569 000	-582 656
<b>Za 4 roky</b> Celkem zisk z provozu	(Kč)	508 161	487 553	469 675	469 345	451 137	432 929	414 721	396 512
Bilance	(Kč)	-371 879	-392 487	-410 365	-410 695	-428 903	-447 111	-465 319	-483 528
<b>Za 5 let</b> Celkem zisk z provozu	(Kč)	635 201	609 441	587 094	586 681	563 921	541 161	518 401	495 641
Bilance	(Kč)	-244 839	-270 599	-292 946	-293 359	-316 119	-338 879	-361 639	-384 399
<b>Za 6 let</b> Celkem zisk z provozu	(Kč)	762 241	731 329	704 512	704 017	676 705	649 393	622 081	594 769
Bilance	(Kč)	-117 799	-148 711	-175 528	-176 023	-203 335	-230 647	-257 959	-285 271

<b>Za 7 let</b>	Celkem zisk z provozu	(Kč)	889 281	853 217	821 931	821 353	789 489	757 625	725 761	693 897
	Bilance	(Kč)	<b>9 241</b>	<b>-26 823</b>	<b>-58 109</b>	<b>-58 687</b>	<b>-90 551</b>	<b>-122 415</b>	<b>-154 279</b>	<b>-186 143</b>
<b>Za 8 let</b>	Celkem zisk z provozu	(Kč)	1 016 321	975 105	939 350	938 689	902 273	865 857	829 441	793 025
	Bilance	(Kč)	<b>136 281</b>	<b>95 065</b>	<b>59 310</b>	<b>58 649</b>	<b>22 233</b>	<b>-14 183</b>	<b>-50 599</b>	<b>-87 015</b>
<b>Za 9 let</b>	Celkem zisk z provozu	(Kč)	1 143 362	1 096 993	1 056 769	1 056 025	1 015 057	974 089	933 121	892 153
	Bilance	(Kč)	<b>263 322</b>	<b>216 953</b>	<b>176 729</b>	<b>175 985</b>	<b>135 017</b>	<b>94 049</b>	<b>53 081</b>	<b>12 113</b>

## 5.9.2 Reálná doba návratnosti

Jak již název vypovídá jedná se o reálnější ukazatel, než je prostá doba návratnosti, a to díky uvažování diskontní sazby. Reálná doba návratnosti  $T_{sd}$  se počítá podle tohoto vzorce:<sup>71</sup>

$$\sum_{t=1}^{T_{sd}} CF_t * (1 + r)^{-t} - IN = 0 \quad (\text{roky}) \quad (7)$$

$T_{sd}$  (roky) – reálná doba návratnosti

$CF_t$  – roční přínosy projektu

$IN$  (Kč) – investiční výdaje projektu

$r$  – diskont

$(1+r)^{-t}$  – odúročitel

Není jednoznačné doporučení, jak volit diskontní sazbu. Já jsem zvolil 3 hodnoty, 3 %, 5 % a 7 %. Výpočet jsem provedl do 20 % ročního přebytku elektrické energie.

*Tabulka 10 – Reálná doba návratnosti*

Reálná doba návratnosti $T_{ds}$						
Roční přebytek elektřiny (%)	0	5	Polysun (9,935)	10	15	20
Diskont 3 %	15,08	16,66	17,49	17,51	18,45	19,50
Diskont 5 %	19,93	21,42	22,90	22,93	24,71	26,83
Diskont 7 %	30,23	35,18	42,07	42,25	57,03	-

Počet let u reálné doby návratnosti samozřejmě vyšly z pohledu investora hůře než hodnoty u prosté doby návratnosti, která nepočítá s diskontní sazbou. U přebytku Polysunu se dostáváme na hodnotu 17,49 let u diskontu 3 %, diskont 5 % znamená návrat investice kolem 23 roku provozu. U diskontní sazby 7 % se dokonce dostáváme k hodnotě přes 42 let, za takových podmínek by již nemělo cenu stavět FV instalaci, jelikož životnost FVE je okolo 25 let.

Pro výpočet a samozřejmě pro kritérium reálná doba návratnosti je zásadní zvolení velikosti diskontu, proto je nutné dohledat co nejvíce informací pro co nejlepší odhad diskontní sazby a následně zvážit, jestli je investice výhodná.

<sup>71</sup>Předpis 309/2016 Sb.: Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku. In: . 2016, ročník 2016.



### 5.9.3 Čistá současná hodnota

Další ekonomické kritérium, které se dá považovat za hlavní, je čistá současná hodnota (NPV). Počítá se podobně jako reálná doba návratnosti, až na to, že je potřeba znát dobu životnosti  $T_z$  projektu. NPV je rozdíl mezi diskontovanými peněžními toky po celou dobu životnosti investice a investičními výdaji.<sup>72</sup>

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_z} CF_t * (1 + r)^{-t} - IN \quad (\text{Kč}) \quad (8)$$

$T_z$  (roky) – doba životnosti projektu

$CF_t$  – roční přínosy projektu

$IN$  (Kč) – investiční výdaje projektu

$r$  – diskont

$(1+r)^{-t}$  – odúročitel

Tabulka 11 – Čistá současná hodnota

#### Čistá současná hodnota NPV

Roční přebytek elektřiny (%)	0	5	Polysun (9,935)	10	15	20
Diskont 3 %	632 126	542 414	464 594	463 149	383 884	304 620
Diskont 5 %	210 455	137 843	74 857	73 687	9 531	-54 624
Diskont 7 %	-99 569	-159 608	-211 688	-212 655	-265 702	-318 749

Dobu životnosti projektu jsem zvolil 25 let. Při této době provozu vidíme, že se vůbec nemá cenu pouštět do projektu, pokud by byl diskont 7 %, jelikož hodnoty jsou záporné, to znamená ztracená investice. Pokud bychom se podívaly na roční přebytek elektřiny do distribuční sítě 9,935 % dostáváme se k NPV 464 594 Kč u diskontní sazby 3 % a 74 857 Kč.

### 5.9.4 Vnitřní výnosové procento

Poslední kritérium, které se používá na ekonomické vyhodnocení projektů je vnitřní výnosové procento IRR. Je to výše diskontní sazby, kdy se NPV rovná nule.

<sup>72</sup>Předpis 309/2016 Sb.: Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku., pozn. 71

IRR by mělo být vyšší nebo minimálně rovno než požadovaná míra výnosnosti investice. Vychází se ze stejného vzorce jako pro čistou současnou hodnotu.<sup>73</sup>

$$\sum_{t=1}^{T_z} CF_t * (1 + r)^{-t} - IN = 0 \quad (\%) \quad (9)$$

$T_z$  (roky) – doba životnosti projektu

$CF_t$  – roční přínosy projektu

$IN$  (Kč) – investiční výdaje projektu

$r$  – diskont

$(1+r)^{-t}$  – odúročitel

*Tabulka 12 – vnitřní výnosové procento*

### Vnitřní výnosové procento

Roční přebytek elektřiny (%)	0	5	Polysun (9,935)	10	15	20
IRR (%)	6,29	5,85	5,47	5,46	5,06	4,65

IRR jsem spočetl pro roční přebytky elektrické energie od 0 % až po 20 %. Nejlepší výsledek je zase u nulového přebytku elektřiny a to hodnota 6,29 %. U přebytku vypočítaný podle softwaru Polysun se pohybujeme kolem 5,5 %.

### 5.9.5 SWOT analýza

Velmi častým, ale také velmi subjektivní ukazatelem projektů je SWOT analýza. Tato analýza se skládá se čtyř částí, každé písmeno v názvu reprezentuje jednu složku. S – Strengths (silné stránky), W – Weaknesses (slabé stránky), O – Opportunities (příležitosti) a T – Threats (hrozby). Silné a slabé stránky je hodnocení projektu z vnitřního pohledu, příležitosti a hrozby zase z toho vnějšího.

Pro každou složku uvedu pouze heslovitý seznam, který nebudu dále rozebírat do podrobností. Mezi silné stránky projektu bych zařadil: konstantnost, funkčnost, certifikované komponenty, výnosnost, nezávislost, investice, návratnost, úspora.

Mezi slabé stránky bych zařadil: vysoké počáteční náklady, zajištění vstupního kapitálu, půjčka, sousedské spory.

Jako příležitosti beru: budoucnost, zelená energie, ekologie, rozvoj, vzrůstající cena elektřiny.

<sup>73</sup> Předpis 309/2016 Sb.: Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku., pozn. 71

A jako poslední bych zmínil hrozby: krize, dluhy, přírodní katastrofa, změna legislativy, ztráta kupujícího, pokles ceny elektřiny – nevýhodnost.

### **5.9.6 Zhodnocení ekonomických ukazatelů projektu**

Jako referenční jsem si zvolil roční přebytek elektřiny vypočítaný softwarem Polysun, to znamená 9,935 %. Proto budu hodnotit tuto možnost, jelikož jí považuji za nejpravděpodobnější. Prostá doba návratnosti se rovná 13,46 letům u možnosti bez podpory NZÚ, s podporou jsem se dokonce dostal pod hranici 7,5 let. To je velmi přijatelná doba návratnosti. Realitě ale odpovídá spíše reálná doba návratnosti, zde je zásadní, jaká se nastaví diskontní sazba, pokud bych počítal pouze se 3 % dostal bych se na hodnotu 17,49 let u diskontu 5 % by to bylo téměř 23 let. Výsledek NPV vyřadil z možnosti investování projekt, pokud by byla diskontní sazba 7 %, jelikož všechny hodnoty u tohoto diskontu vyšly záporně. U přebytku elektřiny 9,935 % z celkového množství vyrobené elektřiny se čistá současná hodnota u diskontu 3 % při době životnosti 25 let rovná 464 594 Kč. Investor by pravděpodobně nešel do mého projektu FVE při diskontu 5 %, jelikož NPV je rovno 74 857 Kč. IRR vyšlo pro daný přebytek elektřiny 5,47.

Výpočty se mohou od reality lišit, jelikož jsem zde nebral v úvahu faktory jako změna ceny elektřiny, změna výtěžku elektrické energie, výměny komponentů FVE, poruchy na FVE atd. Chtěl jsem obsáhnout více potenciálních možností, které mohou nastat, proto jsem udělal výpočty pro různé přebytky elektřiny a různé diskontní sazby.

## **5.10 Závěr**

Dostal jsem se na instalovaný výkon FVE 56,7 kW, který následně dodá do střídavé sítě přes 57 MWh ročně, to jsou slušná čísla na střechu o rozloze 1 000 m<sup>2</sup>. V ekonomickém zhodnocení projektu jsem se dozvěděl, že za určitých podmínek může být investice zisková. Nejedná se o nějak závratné cifry, ale to nikdy nebyl primární cíl této FV instalace.

Když jsem celý projekt instalace FV panelů na bytové domy projednával s experty z PREměření, a.s., kteří se věnují instalaci FVE. Bylo mi řečeno, že se takové výstavby moc neprovádí. Hlavně z důvodu, že každý byt v bytovém domě má svůj vlastní elektroměr a měří si svojí vlastní spotřebu, a ne jako celek. Proto když se staví FVE na bytové domy, tak se počítá převážně s využitím pro společné prostory, jako je

výtah nebo osvětlení na chodbě, pokud se elektřina nevyužije pro hromadný ohřev vody. Já jsem tento prvek obešel tím, že jsem si budovu trochu zidealizoval a použil jsem vlastně takový „předřazený“ elektroměr a následně jsem elektřinu rozvedl do bytů.

Jako akumulaci přebytečné elektřiny systému jsem chtěl použít relativně nově nabízený způsob, Virtuální baterie. Tuto možnost jsem nakonec po zjištění dodatečných informací a hlubší analýzy zavrhl. Ale vidím v ní příslib do budoucnosti, pokud se trochu změní podmínky pro její využití.

Myslím, že v dnešní době je důležité stát se trochu nezávislý, konkrétně mám na mysli v tomto případě na dodavatelích elektřiny. A proto bych, i přes různá úskalí, doporučil tento projekt. Nejenom jako investici, která se s největší pravděpodobností nejenom vrátí a přinese zisk, ale také jako rozvoj samostatnějšího fungování.

## 6 Možnost výstavby FVE v Praze

### 6.1 Úvod

V této části práce se budu věnovat implementaci mé FVE do reálného prostředí. Jak už jsem předesílal v úvodu, primární důvod vybrání tématu pro mojí bakalářskou práci bylo zjištění fotovoltaického potenciálu hl. m. Prahy. Jde o využití vypočtených hodnot z projektu „Bytový dům“ a rozšířit tuto FVE na více objektů, konkrétně na více střech. Jelikož se jedná o spoustu dat, které bych sám nemohl zpracovat, využil jsem datovou platformu Prahy, Golemio. Bude mě především zajímat studie zabývající se zelenými střechy.

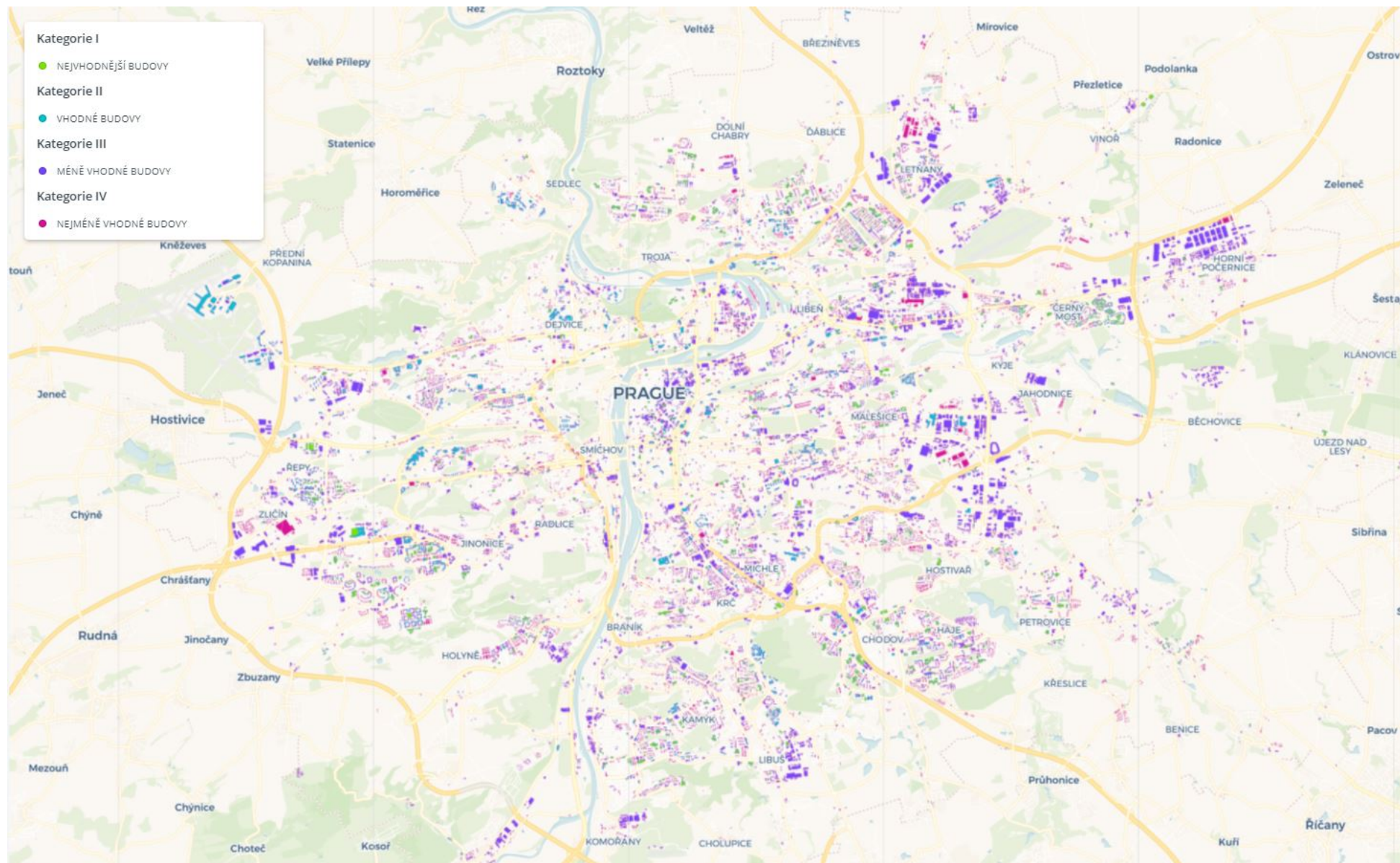
### 6.2 Golemio – zelené střechy

Analýza zelených střech je pro mě prospěšná z jednoho prostého důvodu. Zjišťoval se zde sklon střech, jejich plocha, s možností následného zazelení. A jelikož já uvažuji s tím, že není rozdíl mezi vytvořením zelené střechy nebo instalací FV panelů, mohu tuto studii využít.

Při analýze byla využita data Institutu plánování a rozvoje hl. m. Prahy (IPR) a data Katastru nemovitostí (KN). Pracovalo se zde s pěti kritérii jako sklon a plocha střechy, počet podlaží, majetkové vztahy, využití území. Sklon střech nepřevyšuje 5°, minimální počítaná plocha je 100 m<sup>2</sup>. Do výpočtu se počítají pouze budovy aspoň s jedním nadzemním podlažím. Podle majetkových vztahů byly budovy rozděleny do pěti kategorií, k tomuto kritériu ale nebudu přihlížet. U kritéria využití území byly definovány jednotlivé způsoby využití budovy a následně byly budovy rozděleny do čtyř kategorií. Jen pro zajímavost, bytové domy byly přiřazeny hned do první kategorie, to znamená velice vhodné.<sup>74</sup>

---

<sup>74</sup> Zelené střechy oázy v městské džungli [online]. Praha: Datová platforma hlavního města Prahy, 2018 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: [https://andel.golemio.cz/shared/zelene\\_strechy\\_analyza.pdf](https://andel.golemio.cz/shared/zelene_strechy_analyza.pdf)



Obrázek 14 – Golemio – potenciál zelených střech<sup>75</sup>

<sup>75</sup> Mapa potenciálu zelených střech [online]. Praha: Datová platforma hlavního města Prahy, 2018 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://golemio.cz/cs/node/1443>

### 6.2.1 Potenciál instalace FVE v hlavním městě

Podle poskytnutých dat, která se týkají analýzy střech s potenciálem zazelenění, je možné využít 21 338 objektů s celkovou plochou 16 590 366 m<sup>2</sup>. Upozorňuji, že do této skupiny spadají všechny druhy budov jako třeba i tramvajové vozovny, čistírna odpadních vod, multifunkční arény a stadiony atd.

Bytových domů je samozřejmě pouze zlomek, celkově, pokud neřešíme žádné kategorie, se dostáváme k hodnotě 11 690 domů. Celková využitelná plocha bytových domů je poté 4 903 664 m<sup>2</sup>.

Pokud bychom uvažovali, že potenciál pro zelenou střechu dáme rovnu potenciálu pro FV instalaci, dostáváme se k velmi zajímavým hodnotám. Výpočty vztahují ke svému projektu „Bytový dům“. Počítal jsem pouze s potencionální využitelnou plochou vztaženou k tomu, že moje instalace zabírá 1 000 m<sup>2</sup> neboli 0,1 ha.

Celkové výsledné hodnoty u potenciálu bytových domů a výstavby FVE v Praze je potřeba brát s rezervou (viz. Tabulka 12). Vycházel jsme z toho, že moje FV instalace o rozměrech 1 000 m<sup>2</sup> (0,1 ha) má určitou cenu a vyprodukuje určité množství elektřiny. Bohužel v Praze nejsou budovy jen o tomto ideálním rozměru. K hrubému odhadu situace to ale stačí.

Když se podíváme pouze na potenciál bytových domů na území Prahy, dostáváme se k hodnotě instalovaného výkonu 278 MW, pro srovnání největší FV elektrárna v ČR Ralsko Ra 1 má instalovaný výkon 38,3 MW.<sup>76</sup> Samozřejmě v našem případě by nešlo o svedení elektřiny do jednoho odběrného místa, ale o x menších elektráren. Roční produkce by při této konstelaci byla 282,59 GWh, což odpovídá tak 2 % vyrobené elektřiny Temelína.<sup>77</sup>

Celkový potenciál hl. m. Prahy je samozřejmě ještě o řád vyšší. Je možné využít až 1659 hektarů ploch střech. Celkově by se dalo dosáhnout pomocí FVE instalovaných na objektech téměř 1 TWh vyrobené elektřiny za rok. Náklady na takový počet instalací by se pohybovali v řádech desítek miliard.

---

<sup>76</sup> Největší české elektrárny. *Fotovoltaické panely* [online]. [cit. 2019-05-04]. Dostupné z:

<http://www.fotovoltaickepanely.eu/fotovoltaika/nejvetsi-ceske-elektrarny/>

<sup>77</sup>Jaderná elektrárna Temelín. Wikipedia [online]. [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Jadern%C3%A1\\_elektr%C3%A1rna\\_Temel%C3%ADn](https://cs.wikipedia.org/wiki/Jadern%C3%A1_elektr%C3%A1rna_Temel%C3%ADn)

Tabulka 13 – Potenciál FV v Praze

	Počet domů	Plocha	Počet instalací	Cena	Instalovaný výkon		Roční produkce AC			
	(-)	(m <sup>2</sup> )	(ha)	(-)	(Kč)	(kW)	(MW)	(kWh)	(MWh)	(GWh)
<b>Projekt Bytový dům</b>	1	1000	0.1	1	1 580 040	56.7	0.06	57635.5	57.6	0.06
<b>Potenciál bytových domů v Praze</b>	11 690	4 903 664	490.4	4 903	7 746 936 120	278 000.1	278.00	282 586 856.5	282 586.9	282.59
<b>Potenciál celé Prahy</b>	21 338	16 590 366	1 659.0	16 590	26 212 863 600	940 653.0	940.65	956 172 945.0	956 172.9	956.17



### **6.3 Zhodnocení možnosti výstavby FVE v Praze**

Díky datové platformě Golemio jsem se dostal k informacím nejenom o celkovém počtu a ploše objektů z potenciálu pro zazelenění neboli pro výstavbu FVE, ale také čistě jen k bytovým domům. Sice se nejedná jen o panelové byty, ale abychom si udělali obrázek o momentálních možnostech Prahy v budování FVE na střechách to stačí.

Z výsledků je patrné, že potenciál hlavního města je velký. Kdybychom ale uvažovali reálně o výstavbě, museli bychom se detailněji podívat na jednotlivé budovy ať už na jejich rozlohu střechy nebo třeba na majetkové poměry. Výsledky jsou velmi orientační, pokud bychom chtěli přesnější hodnoty, bylo by nutné se podívat na každý bytový dům nebo budovu detailněji, bohužel na to nemám kapacitu a přesáhlo by to rámec této práce.

## 7 Závěr

Instalace FV panelů je jedním z hlavních směrů, kterým by se měl člověk ubírat, pokud se jedná o zisk elektrické energie z OZE. Česká republika sice nenabízí ideální podmínky z pohledu místopisu týkající se dopadajícího slunečního záření pro instalaci FVE, ale oproti ostatním možným zdrojům obnovitelné energie přináší nesporné výhody. Krom vizuálního smogu, který ale nepovažuji za zásadní, nepřináší žádná negativa. Navíc fakt, že Slunce je všudypřítomné, znamená, že i energie z něho se dá získat velmi blízko konečného spotřebitele. Proto lze považovat za největší přednost fotovoltaiky možnost stavět FV panely přímo u odběru elektrické energie.

Fotovoltaické články mohou mít různé podoby, na první pohled nemusí být poznat, že se jedná o zdroj elektrické energie. Nejčastěji se setkáváme s monokrystalickými nebo polykrystalickými křemíkovými panely. Je to díky tomu, že účinnost těchto panelů je největší, pohybuje se kolem 17 % a cena těchto panelů každoročně klesá. Lze dosáhnout i vyšších účinností FV panelů, dokonce i okolo 40 %, ale to se již bavíme o vícevrstvých článcích a samozřejmě vyšší účinnost se projeví na zvýšení výrobních nákladů.

V dnešní době již není nutné hyzdit krajinu rozlehlými FVE. Ideální místa pro instalaci FV panelů jsou již postavené objekty. Využít se dají jak stěny objektů, tak především střechy. Jedna z variant jsou domy, konkrétně bytové domy. Je zde vysoká koncentrace osob, jež znamená spotřebu elektrické energie a tuto energii je potřeba někde vyrobit.

V modelovém projektu „Bytový dům“ jsem se zaměřil právě na tuto možnost, instalace FV panelů na střechu bytového domu. Pokud se jedná o tak velký bytový dům jako jsem si zvolil (72 bytů), nikdy nedosáhne vyrobená elektrická energie z FVE instalované na střeše hodnot spotřebované elektřiny v domě. Rozhodně ale může výrazně pomoci k úspoře, jelikož vyrobená elektřina přes 58 MWh z 189 kusů panelů o celkovém výkonu 56,7 kW není zanedbatelná.

Cena investice přesahuje 1,5 milionu Kč, pokud by se využila podpora z programu NZÚ pořizovací náklady FVE by klesly téměř na polovinu. I když se jedná o tak velkou investici, prostá doba návratnosti projektu, při určitém přebytku (9,935 %) elektrické energie, který by byl dodáván do distribuční sítě, by byla kolem 13,5 let. U reálné doby návratnosti velmi záleží na zvolené diskontní sazbě, u diskontu 3 % by to znamenalo skoro 17,5 let. Životnost FV panelů neboli záruka od výrobce je 25 let.

To znamená, že při této délce provozu FVE by čistá současná hodnota (NPV) projektu byla okolo 460 tis. Kč a vnitřní výnosové procento (IRR) by vycházelo kolem 5,5 %. Nejedná se o extrémně výhodnou investici z pohledu ekonomických ukazatelů projektu. Je zde ale potřeba zohlednit věci jako určitá soběstačnost na dodávkách elektrické energie, a především podporu takzvané zelené energie.

Největší přínos této práce považuji zjištění hrubé představy potenciálu instalace FVE na střechy bytových domů v Praze. Hlavní město by tímto způsobem mohlo dosáhnout instalovaného výkonu 278 MW a roční produkce střídavého elektrického proudu 282,59 GWh, což není z hlediska globálního velké číslo, ale pokud se podíváme čistě na FVE jsou to již úctyhodné hodnoty. Proto si myslím, že v tomto odvětví OZE je záhodno pokračovat. Instalaci FV panelů nejenom na střechy již postavených domů osobně považuji jako budoucnost získávání elektrické energie. Pokud by se s výstavbou FVE počítalo již u nově vznikajících staveb, mohlo by to přinést nejenom finanční úsporu na nákladech, ale i zajímavá architektonická řešení.

## 8 Seznam použité literatury

### 8.1 Tištěné prameny

- [1] BALFOUR, John, Michael SHAW a Nicole Bremer NASH. *Advanced photovoltaic system design*. Burlington, Mass.: Jones & Bartlett Learning, c2013. ISBN 978-1-4496-2469-9.
- [2] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [3] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie*. 2., dopl. vyd. Praha: Ilsa, 2010. ISBN 978-80-904311-5-7.
- [4] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Solární energie: fotovoltaika - perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti*. V Praze: ČZU, 2005. ISBN 80-213-1335-8.
- [5] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN ISBN978-80-01-04937-2.
- [7] *Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installers, architects and engineers*. 2nd ed. Sterling, VA: Earthscan, 2008. ISBN 978-1-84407-442-6.
- [8] *Předpis 309/2016 Sb.: Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku*. In: . Praha: Tiskárna ministersta, 2016, ročník 2016, číslo 309.
- [9] *Zákon 165/2012 Sb., ze dne 31. ledna 2012, o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů*. Praha: Tiskárna ministerst, 2012, 2012(165).

## 8.2 Elektronické a internetové prameny

- [1] *Cena elektřiny: Z čeho je složena?* [online]. Cenyenergie.cz, 2014 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://www.cenyenergie.cz/cena-elektřiny-z-čeho-je-složena/#/promo-ele-mini>
- [2] Ceny elektrické energie. *Energie123* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektrické-energie/cena-1-kwh/>
- [3] *Conversion efficiencies of best research solar cells worldwide from 1976 through 2018 for various photovoltaic technologies.* [online]. In: . [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:PVeef\(rev181218\)v5.pdf#filelinks](https://en.wikipedia.org/wiki/File:PVeef(rev181218)v5.pdf#filelinks)
- [4] Energetická soběstačnost. In: *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/sluzby-pro-zakazniky/fotovoltaika.html>
- [5] *Energie z obnovitelných zdrojů* [online]. [cit. 2018-12-23]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/obnovitelne-zdroje.html>
- [6] Fotovoltaika. *Wikipedia* [online]. 2018 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaika>
- [7] Jaderná elektrárna Temelín. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Jadern%C3%A1\\_elektr%C3%A1rna\\_Temel%C3%ADn](https://cs.wikipedia.org/wiki/Jadern%C3%A1_elektr%C3%A1rna_Temel%C3%ADn)
- [8] Již 11 zemí Evropské unie splnilo své cíle pro podíl OZE do roku 2020. *Oenergetice.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-01-15]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/evropska-unie/jiz-11-zemi-evropske-unie-splnilo-sve-cile-podil-oze-roku-2020/>
- [9] *Mapa potenciálu zelených střech* [online]. Praha: Datová platforma hlavního města Prahy, 2018 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://golemio.cz/cs/node/1443>
- [10] Mapa slunečního záření v České republice:.. In: *Porsyl* [online]. PVGIS © European Communities, 2001 - 2008 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <http://www.porsyl.cz/>
- [11] *Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2015 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/54909/62718/649151/priloha001.pdf>
- [12] *Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltice* [online]. TZB: Ing. Bronislav Bechník, Ph.D., 2014 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltice>

- [13] Největší české elektrárny. *Fotovoltaické panely* [online]. [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <http://www.fotovoltaickepanely.eu/fotovoltaika/nejvetsi-ceske-elektrarny/>
- [14] *Obnovitelné zdroje energie v roce 2017* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu - oddělení analýz a datové podpory koncepcí, 2018 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2018/12/Obnovitelne-zdroje-energie-v-roce-2017-new.pdf>
- [15] *Obrázek - energetické pásy* [online]. In: . Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/773-elektricke-vlastnosti-pevnych-latek>
- [16] *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)* [online]. European Commission, 2004 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/databasehelp\\_en.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/databasehelp_en.html)
- [17] *Podíl OZE v ČR se musí zvýšit na 22,5 %, aby byl dosažen celoevropský cíl do roku 2030* [online]. Oenergetice.cz, 2018 [cit. 2019-11-12]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrarny-cr/podil-oze-v-cr-se-musi-zvysit-na-225-aby-byl-dosazen-celoevropsky-cil-do-roku-2030/>
- [18] Polovodiče: Fotovoltaické články z krystalického křemíku a tenkovrstvé články. *Oenergetice.cz* [online]. 2017 [cit. 2019-01-15]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/polovodice-fotovoltaicke-clanky-krystalickeho-kremiku-tenkovrstve-clanky>
- [19] Polysun software. *Velasolaris* [online]. Switzerland [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.velasolaris.com/shop/trial-version/?lang=en>
- [20] Průměrná cena elektřiny za kWh v roce 2019 zdražila na 4,6 korun. Kdo ji prodává levněji?. *Elektrina* [online]. Redakce Elektrina.cz, 2019 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/cena-elektriny-za-kwh-2019-cez-eon-pre-a-dalsi-dodavatele>
- [21] Slovník ekonomických pojmů. *Inkapo* [online]. 2011 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <http://www.inkapo.cz/odborna-sekce/slovník-pojmu/ekonomika>
- [22] Solar cell efficiency. *Wikipedia* [online]. 2019 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_cell\\_efficiency](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell_efficiency)
- [23] Virtuální baterie specifikace. *EON-solar* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: [https://www.eon-solar.cz/static/files/EON\\_Virtualni\\_baterie\\_specifikace\\_v18.pdf](https://www.eon-solar.cz/static/files/EON_Virtualni_baterie_specifikace_v18.pdf)
- [24] Vyúčtování elektřiny: Jak vyčíst z faktury za energie vše, co potřebujete. *Elektrina.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/vyuctovani-elektriny-kam-se-koukat-ve-fakture>

- [25] *Závazné pokyny pro žadatele BD-zateplení-zdroje-soláryrekuperace* [online]. Ministerstva životního prostředí: Nová zelenám úsporám, 2017 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z:  
<https://www.novazelenausporam.cz/dokumenty/detail/?id=590>