

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Návrh fotovoltaické elektrárny s akumulací**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Monika Hromasová, Ph.D.

Vypracoval: Petr Novák

© 2020 ČZU v Praze



Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autor práce:	Petr Novák
Studijní program:	Procesní inženýrství
Obor:	Technika a technologie zpracování odpadů
Vedoucí práce:	Ing. Monika Hromasová, Ph.D.
Garantující pracoviště:	Katedra elektrotechniky a automatizace
Jazyk práce:	Čeština
Název práce:	<b>Návrh fotovoltaické elektrárny s akumulací</b>
Název anglicky:	<b>Design of photovoltaic power plant with accumulation</b>
Cíle práce:	Cílem BP je zmapování provozu fotovoltaické elektrárny a návrh doplnění fotovoltaické elektrárny o akumulční zařízení.
Metodika:	1) Zpracování literární rešerše 2) Návrh fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům 3) Návrh akumulace včetně ekonomického zhodnocení 4) Předpokládaná životnost fotovoltaické elektrárny a návrh její likvidace
Doporučený rozsah práce:	35 stran
Klíčová slova:	fotovoltaická elektrárna, zdroj, výroba, akumulace
Doporučené zdroje informací:	<ol style="list-style-type: none"><li>BERANOVSKÝ, J. -- EKOWATT (ORGANIZACE), -- MURTINGER, K. -- TOMEŠ, M. <i>Fotovoltaika, elektřina ze slunce</i>. Brno: ERA, 2007. ISBN 978-80-7366-100-7.</li><li>HILLEBRAND, W. -- HENZE, A. -- LOSÍK, V. <i>Elektrický proud ze slunce : fotovoltaika v praxi : technika, přehled trhu, návody ke stavbě</i>. Ostrava: HEL, 2000. ISBN 80-86167-12-7.</li><li>LIBRA, M. -- POULEK, V. <i>Fotovoltaika : teorie i praxe využití solární energie</i>. Praha: ILSA, 2009. ISBN 978-80-904311-0-2.</li><li>LIBRA, M. -- POULEK, V. <i>Solární energie : fotovoltaika - perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti</i>. V Praze: ČZU, 2006. ISBN 80-213-1488-5.</li><li>MARTINOVSKÁ, V. -- HOŘEJŠÍ, E. -- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR SONNENENERGIE, -- ŽENÍŠKOVÁ, A. -- ROHÁČOVÁ, A. -- KLAMO, J. -- ROHÁČ, P. -- HASELHUHN, R. -- HICKOVÁ, J. -- BAROCH, T. -- MAULE, P. <i>Fotovoltaické systémy : energetická příručka : pro elektrikáře, techniky, instalatéry, projektanty, architekty, inženýry, energetiky, manažery, stavitele, studenty, učitele, ostatní odborné a profesní soukromé nebo veřejné instituce a zájemce o fotovoltaický obor a energetickou nezávislost</i>. Plzeň: Česká fotovoltaická asociace, 2017. ISBN 978-80-906281-5-1.</li></ol>
Předběžný termín obhajoby:	2019/2020 LS - TF

Elektronicky schváleno: 15. 2. 2019  
**Ing. Miloslav Linda, Ph.D.**  
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 15. 2. 2019  
**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**  
Děkan

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Návrh fotovoltaické elektrárny s akumulací vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 24.3.2020

---

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval paní Ing. Monice Hromasové, Ph.D. za poskytnuté rady, obsahové připomínky, vstřícnost a vřelost při konzultacích ohledně mé bakalářské práce. Dále děkuji za poskytnuté informace a odborné poznatky osloveným firmám PRE, a.s., ČEZ, a.s. a E.ON. Současně velmi děkuji společnosti ASEKOL, a.s. za poskytnutí cenných informací a uskutečnění prohlídky firmy AQUATEST, a.s, přesněji panu Petrovi Petránkovy. Rád bych poděkoval mé rodinně, díky níž jsem mohl zpracovat a dokončit tuto práci.

# Návrh fotovoltaické elektrárny s akumulací

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá fotovoltaickým jevem, porovnáním nabídek od oslovených společností a pojednává o možném využití fotovoltaických panelů po jejich vyřazení z provozu.

Ze získaných podkladů byl vysvětlen fotovoltaický princip. Následně je popsána struktura článku a konstrukce fotovoltaického panelu.

Je představen obytný dům, pro který je navržena fotovoltaická elektrárna. Současně je doporučeno uložení přebytečné elektrické energie do baterií.

Byly osloveny společnosti zabývající se touto problematikou na území České republiky a jejich nabídky byly porovnány, včetně vypracovaného vlastního návrhu.

V závěru se práce věnuje metodám zpracování fotovoltaických panelů po jejich vyřazení z činnosti.

**Klíčová slova:** Fotovoltaika, článek, panel, baterie, rodinný dům, návrh, porovnání, recyklace, sekundární využití surovin.

# **Design of photovoltaic power plant with accumulation**

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the photovoltaic phenomenon, comparing offers from the addressed companies and discusses the possible use of photovoltaic panels after their decommissioning.

The photovoltaic principle was explained from the obtained data. Subsequently, the structure of the cell and the construction of the photovoltaic panel are described.

A residential house for which a photovoltaic power plant is designed is presented. It is also recommended to store excess electrical energy in batteries.

Companies dealing with this issue in the Czech Republic were approached and their offers were compared, including my own proposal.

In the end I covered methods of processing photovoltaic panels after their decommissioning.

**Keywords:** Photovoltaics, cell, panel, battery, residential house, design, comparison, recycling, secondary use of resource.

# Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce .....	2
3	Metodika práce .....	3
4	Teorie výroby FVE.....	4
4.1	Představení FV článků.....	4
4.1.1	Schéma a struktura FV článku .....	4
4.2	Druhy FV článků .....	5
4.2.1	První generace .....	5
4.2.2	Druhá generace.....	5
4.2.3	Třetí generace .....	6
4.2.4	Čtvrtá generace.....	6
4.3	Konstrukce fotovoltaického panelu .....	7
5	Návrh fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům.....	9
5.1	Charakteristika rodinného domu.....	9
5.2	Možnosti akumulace.....	11
5.2.1	Voda.....	11
5.2.2	Baterie .....	11
5.2.3	Přímá spotřeba.....	11
5.3	Samotný návrh FVE .....	12
5.4	Schéma zapojení FVE s akumulací v RD .....	13
6	Porovnání návrhů FVE s akumulačním zařízením a její návratnost.....	15
6.1	Nová zelená úsporám.....	15
6.2	Zhodnocení FVE s akumulací.....	16
7	Předpokládaná životnost FVE a její likvidace .....	19
7.1	Životnost FVE .....	19
7.2	Likvidace.....	20
7.2.1	Chemická metoda .....	21
7.2.2	Termická metoda .....	21
7.2.3	Mechanická metoda.....	22
7.2.4	Mechanicko-Chemická metoda .....	23
7.2.5	Optická metoda.....	24
7.2.6	Postup v naší zemi .....	24
7.2.7	Návrh likvidace .....	26
8	Výsledky a jejich hodnocení.....	27
9	Závěr .....	28
10	Seznam použitých zdrojů.....	29

11	Přílohy .....	33
11.1	Nabídka fotovoltaické elektrárny od společnosti PRE, a.s.....	33
11.2	Nabídky instalace fotovoltaické elektrárny od společnosti ČEZ, a.s. ....	34
11.3	Nabídka instalace fotovoltaické elektrárny od společnosti E.ON .....	35
11.4	Fotografie ze zpracování FV panelů .....	37
11.5	Tabulka intenzity osvětlení a předpokládané produkce pro rodinný dům.....	40



# 1 Úvod

V současné době dochází k přechodu výroby elektrické energie z fosilních paliv na obnovitelné zdroje výroby elektrické energie. Mezi ně lze řadit například větrné a solární elektrárny apod. Tento tlak převážně vyvíjejí země Německa a Francie, které jsou zároveň hlavními představiteli Evropské unie.

V poslední době je zaznamenán velký rozvoj výroby energie ze slunečního záření (fotovoltaické elektrárny). Tyto elektrárny se v současnosti nejvíce využívají pro soukromé účely na střechách rodinných domů, podniků, průmyslových objektů a na polích.

Největší problém představuje uchování vyrobené elektrické energie na dobu zvýšené spotřeby v rámci provozu. Za tímto účelem byly vynalezeny různé způsoby akumulace pro zachování energie. Neustále se v tomto odvětví vyvíjejí nové technologie. Této problematice je věnována celosvětová pozornost.

Bezporuchové dodávky elektrické energie pro dnešní civilizaci jsou nejzásadnější. Poruchy vzniklé na fotovoltaické elektrárně se s úspěchem detekují pomocí nejmodernější techniky jako je termovizní kamera. Ta bezpečně určí místo ztrát v panelu. Nejčastějším typem ztráty je hotspot, vzniklý chybou materiálu při výrobě, montáži ale i údržbou či dlouhodobým zastíněním části panelu.

Aktuálně je nutné věnovat se otázce, jak samotné panely recyklovat, tak aby co největší podíl získaných surovin se vrátil zpět do prvovýroby. Tímto procesem se ušetří zdroje vzácných surovin a omezí se podíl škodlivin v životním prostředí. Ve většině případů se docílí i zlepšení ekonomických a ekologických faktorů výrobků.

Byly vypracovány posudky, že do roku 2040 se vyřadí takové množství panelů, které se v daném počtu z hlediska ekonomického při recyklaci ještě nezaplatí. Za ekonomicky rentabilní počet je považovaná hodnota minimálně 20 tisíc tun vyřazených panelů za rok [1].

Z legislativního hlediska se provádí recyklace panelů specializovanými firmami s odborně proškoleným personálem.

## 2 Cíl práce

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem fotovoltaické elektrárny ve spojení s akumulací elektrické energie pro rodinný dům. V práci se objeví vysvětlení principu fotovoltaického článku, samotný návrh fotovoltaické elektrárny a akumulace, schéma zapojení a umístění v rodinném domě. Dále se věnuje práce porovnání společností nabízející instalace fotovoltaických elektráren tzv. „na klíč“. Porovnání jejich cenových nabídek a jejich předpokládané životnosti. Současně tato práce vysvětluje metody zpracování panelů po vyřazení z činnosti. Suroviny získané z recyklace lze použít při další výrobě a omezit tak množství těžby vzácných nerostů s dopadem na životní prostředí.

Zpracování literární rešerše o fotovoltaickém jevu, článků a panelu.

Představení rodinného domu a návrh umístění fotovoltaické elektrárny.

Představení možností akumulace přetoků a jejich výhody a nevýhody.

Životnost fotovoltaických panelů a způsoby recyklace panelů a využití získaných surovin po recyklaci.

### 3 Metodika práce

Bakalářská práce se věnuje vysvětlení pojmu fotovoltaický článek. Problematicke vlastního vzniku elektrické energie z dopadajícího slunečního záření. Seznamuje se strukturou fotovoltaického článku a s konstrukcí panelu.

Dále pojednává o rodinném domě, na kterém majitel požaduje vybudovat fotovoltaickou elektrárnu.

Představí se možnosti akumulace el. energie získané ze sluneční přeměny. Práce pojednává o akumulaci energie do baterií.

Je popsán návrh fotovoltaické elektrárny s porovnáním nabídek třech největších energetických společností na území České republiky. Současně bylo zhodnoceno, zda je optimálnější z hlediska ekonomického si vlastní elektrárnu sestavit či nechat vybudovat tzv. na „klíč“.

V závěru je zmiňovaná délka životnosti fotovoltaické elektrárny. Rovněž je popsán způsob likvidace po ukončení činnosti, její recyklace a využití získaného materiálu.

## 4 Teorie výroby FVE

Princip fotovoltaického (dále jen FV) článku – stručně vysvětluje přeměny slunečního svitu v energii elektrickou.

- Schéma FV článku – struktura FV článku
- Druhy FV článků – porovnání jednotlivých druhů
- Výhody a nevýhody FV článků

### 4.1 Představení FV článků

FV článek je velkoplošná dioda, která je schopna přeměnit sluneční záření (energii) na energii elektrickou. Samotný článek tedy využívá jev zvaný fotovoltaický.

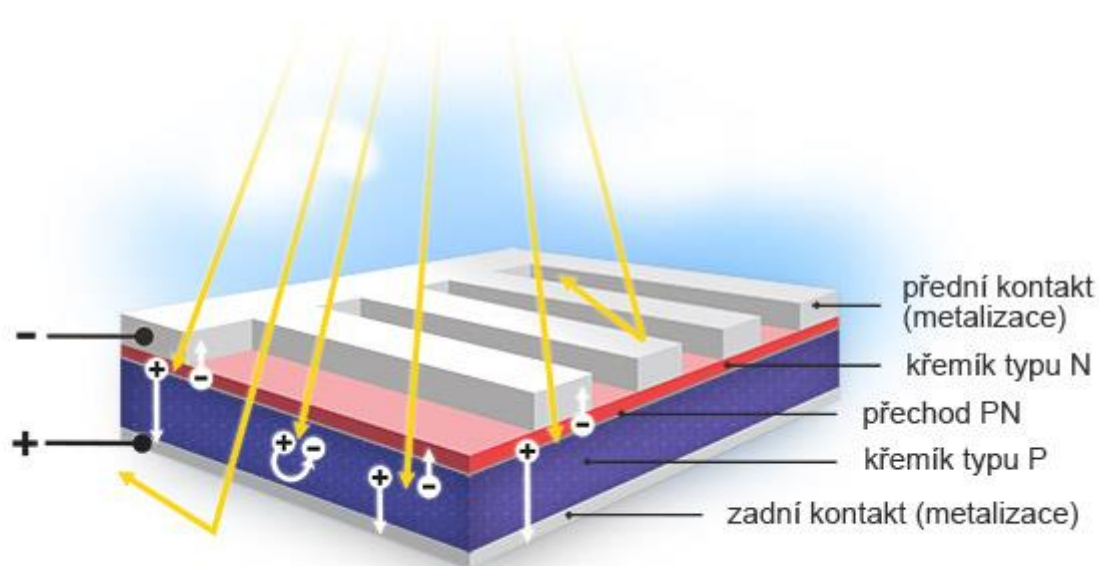
Přeměna sluneční energie na energii elektrickou probíhá tak, že na přechodu PN, který je orientován směrem ke slunci, dopadá sluneční záření. Při dopadu slunečního záření na povrch článku předávají fotony energii atomům a uvolňují elektrony. Přechod PN znemožní volné spojení elektron – díra, tím se elektrony hromadí ve vrstvě N. Naopak elektrony ve vrstvě P mohou přes přechod PN procházet do vrstvy N a tím počet elektronů neustále stoupá. Tento jev způsobuje vznik elektrického napětí mezi vrstvami. Hodnota vzniklého napětí se pohybuje přibližně okolo 0,6 V. Hodnota napětí 0,6 V byla naměřena a vypočtena v rámci laboratorních prací, které byly prováděny v roce 2015 na Střední průmyslové škole elektrotechnické.

#### 4.1.1 Schéma a struktura FV článku

Struktura FV článku je znázorněna na obrázku číslo jedna. Na obrázku je patrné uspořádání jednotlivých vrstev a jejich pořadí a typ.

Křemík typu N má vodivost zápornou, která vzniká přidáním více valenčního elektronu do krystalové mřížky polovodiče typu N.

Křemík typu P je polovodič, kterému chybí valenční elektron v obalu. Vodivost je kladná, příměsové atomy jsou akceptory.



Obrázek 1 Schéma a struktura fotovoltaického článku [2]

## 4.2 Druhy FV článků

### 4.2.1 První generace

Je složena z destiček monokrystalu křemíku, ve kterém je vytvořen P-N přechod. Tato generace vyniká velkou účinností přeměny energie kolem 20 % (v laboratorních podmínkách až 30 % [3]) a zároveň s velkou výdrží stabilního výkonu. Tento typ generace je nadále nejrozšířenější na trhu. Poprvé se zmiňovaná generace objevila a byla využita už v 70 letech 19. století.

Její nevýhoda spočívá v použití drahého materiálu, lépe řečeno využití krystalicky čistého křemíku.

### 4.2.2 Druhá generace

Je známá hlavně snahou omezit množství drahého křemíku a tím zlevnit výrobu. Zde se využívají tenkovrstvé plátky křemíku. Hojně využívané články jsou z polykrystalického, mikrokrystalického anebo z amorfního křemíku.

Účinnost této generace je obecně pod 10 % [4].

Nevýhodou je nižší účinnost a také menší stabilita (účinnost klesá s časem).

U této generace se s úspěchem využívá fotovoltaická fólie, která je nepropustná a generující elektrickou energii.

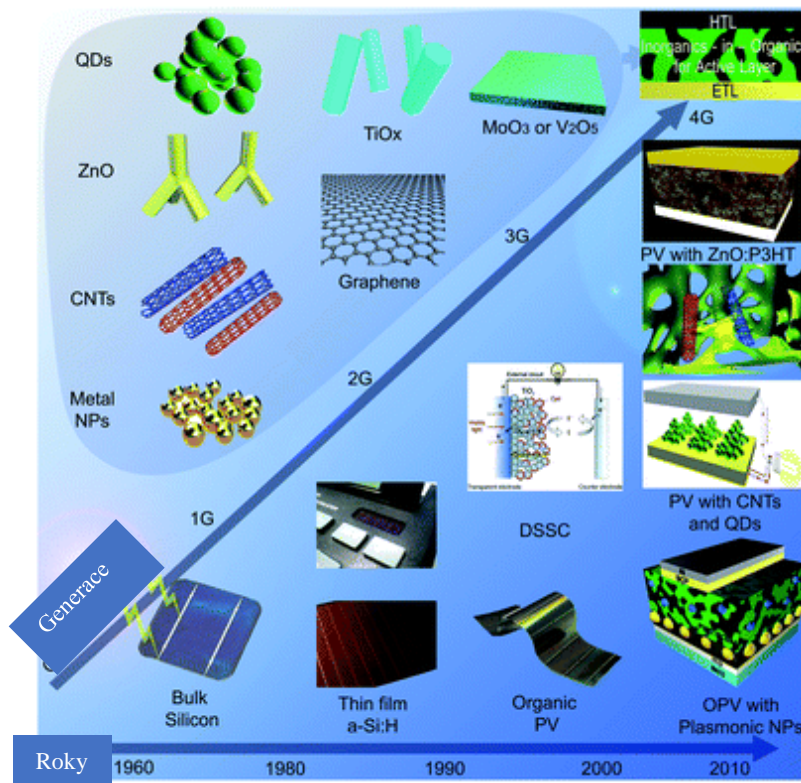
#### 4.2.3 Třetí generace

Tato generace se odlišuje od předchozích dvou tím, že využívá jiné materiály, než je křemík k přeměně sluneční energie na energii elektrickou. Jedná se o tenkovrstvé (téže amorfni – think film) články, které pracují na základě nanokrystalických anorganických struktur (v podobě tyčinek, trubiček či kvantových teček z uhlíku či TiO<sub>2</sub>) nebo organických struktur, či jejich kombinací (jedná se zejména o perovskitové solární články [5]). Na konci roku 2018 dosáhli vědci nového světového rekordu v účinnosti perovskitových článků ve výši přes 23 % [6] (pro srovnání tradiční křemíkové články existují déle než 60 let a jejich maximální účinnost dosahuje přes 25 % [6]). Dalším důvodem zájmu vědců o perovskitové panely je fakt, že se tyto panely dají mnohem jednodušeji vyrobit, a tím jsou i levnější. Tyto solární články jsou navíc lehké, dají se ohýbat, a mohou být i průhledné. Tím se otevírají nové možnosti využití pro solární fotovoltaiku. Perovskitové panely mohou být nainstalovány v podstatě na jakýkoliv objekt či materiál. Ať už je to notebook, telefon, auto, dron, kosmická loď, ciferník chytrých hodinek nebo záda telefonu [6].

#### 4.2.4 Čtvrtá generace

Pokus o „fotovoltaickou revoluci“ představují solární články čtvrté generace. Jsou tvořeny z kompozitních materiálů. Jednotlivé články jsou tvořeny z vrstev, schopných efektivně využívat široké spektrum slunečního záření. Je to dáno tím, že každá vrstva dokáže využít světlo v určitém rozsahu vlnových délek a záření, které využít nemůže, propustí do hlubších vrstev, kde je využito. Hlavním cílem je nejen snaha o maximalizaci počtu absorbovaných fotonů, následně generovaných párů elektron – díra, ale i maximální využití energie dopadajících fotonů [7].

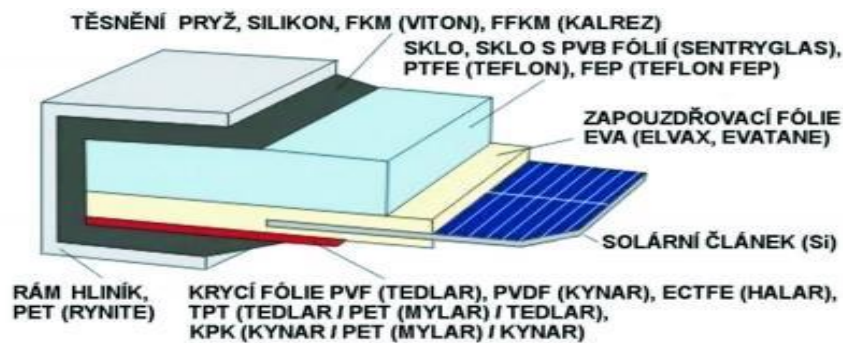
Koncept solárních článků čtvrté generace byl vyvinut s cílem realizovat jak zlepšený transport náboje, tak zlepšení optické vazby, se začleněním anorganických nano struktur do architektury článku. Kromě optických a elektronických výhod začlenění anorganických systémů do aktivních materiálů je také známo, že určité anorganické materiály zlepšují životnost zařízení. Anorganické materiály jsou uhlíkové nanotrubičky (CNT) nebo kovové nanočástice (mNP) [8].



Obrázek 3 Obrázek vývoje fotovoltaických článků [8]

Na obrázku číslo dvě je uveden vývoj generací fotovoltaického článku v čase a použití materiálu pro danou generaci a zároveň je zobrazen generační článek, jak vypadá.

### 4.3 Konstrukce fotovoltaického panelu



Obrázek 4 Konstrukce fotovoltaického panelu [9]

Z obrázku číslo tři je patrné složení fotovoltaického panelu. Níže si představíme podrobněji jednotlivé komponenty.

#### EVA

Ethylen vinyl acetát (EVA), také známý jako poly(ethylen-vinylacetát) neboli PEVA. Je kopolymer ethylenu a vinylacetátu. EVA je základní strukturální jednotkou PEVA.

## **Tedral**

Je polyvinylfluorid.

## **Sklo**

Jedná se o základní konstrukční část všech FV panelů. Tvrzené sklo je pro panel velmi důležitou složkou, a to nejen z hlediska pevnosti, ale také k ochraně samotného FV článku.

## **Hliník**

Druhou základní složkou FV panelu je hliník. Tento kov slouží pro výrobu konstrukce rámců panelů.

## **Plastové komponenty**

Do této skupiny patří především laminační materiály, které slouží k zapouzdření článků.

Z těchto komponentů jsou i přípojovací skříňky.

## **Fotovoltaické články**

Z hlediska hmotnosti mají články na panelu zanedbatelný podíl, který se pohybuje v rámci jednotek procent. Přesto mají značný vliv na cenu panelu, a zároveň na spotřebu energie při jeho výrobě.

FV článek je umístěn v panelu pod ochrannými a propustnými vrstvami. Panel se skládá z mnoha článků, které mohou být různě zapojeny:

- Sériové zapojení pro zvýšení napětí panelu, a zachování stejného proudu
- Paralelní zapojení pro stejné napětí, ale vyššího možného odběru proudu
- Kombinace sériově - paralelního zapojení umožňující nastavení potřebného napětí a proudu

Ze zadu panelu je umístěn černý box, který slouží k lepšímu využití panelu při poruchovém chodu článku/ů. V boxu jsou umístěny překlenovací (bypassové) diody, které překlenou chybně fungující část v panelu. Nejčastěji to bývá 18 až 24 článků na jednu překlenovací diodu. Box zároveň slouží jako přípojovací část samotného panelu do Stringu. String/y se připojují do střídače a následně do elektrické soustavy.

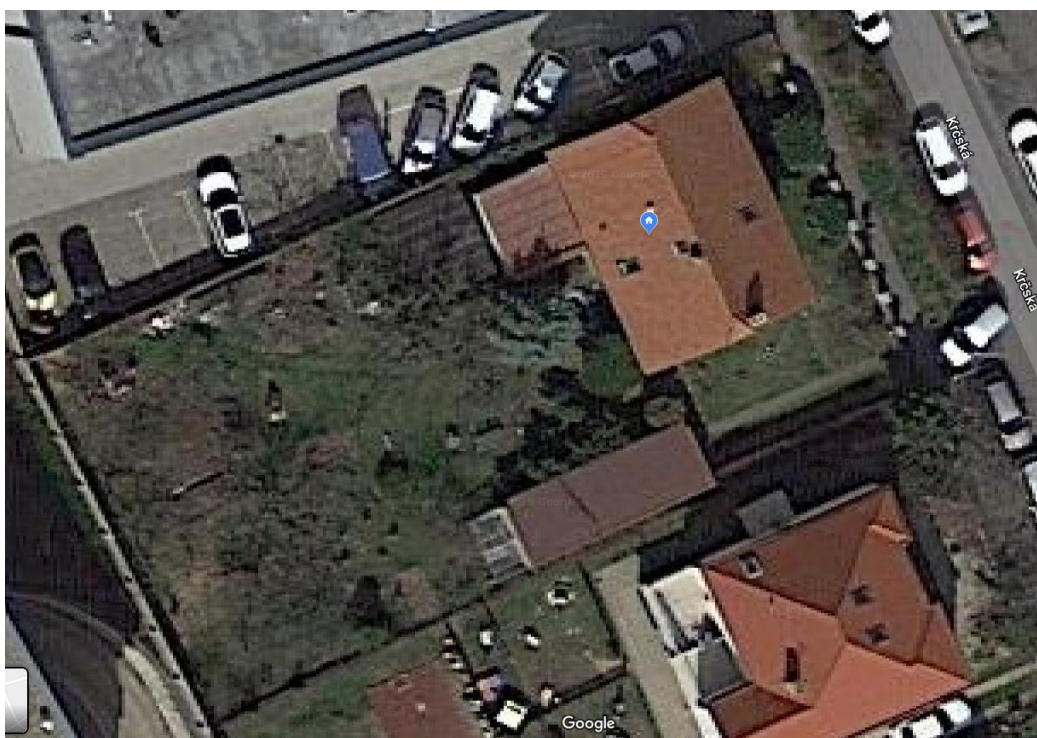


## 5 Návrh fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům

### 5.1 Charakteristika rodinného domu

Tento bod představuje rodinný dům, pro který je navrhována fotovoltaická elektrárna. Dům se nachází na území hlavního města Prahy, konkrétně v části Praha 4 - Krč. Objekt je na distribučním území společnosti PRE, a.s, kterou obhospodařuje PREdistribuce, a.s.

Má jednu bytovou jednotku, dvě nadzemní a jedno podzemní podlaží. V suterénu je umístěna technická místnost, kde lze umístit technologii FVE. Na stejném pozemku se nachází garáž. Popisovaný objekt je zobrazen na obrázku číslo čtyři.



Obrázek 5 Rodinný dům

#### **Popis aktuální situace domu**

Objekt je po rekonstrukci, zcela zateplen a má sedlovou střechu. Okna jsou z materiálu PVC pro lepší zabránění únikům tepla. Vstupní dveře jsou ze dřeva. Domácnost je vytápěna plynovým kotlem. Na ohřev vody, pro kuchyňské potřeby a koupelnu, je využita plynová kárna.

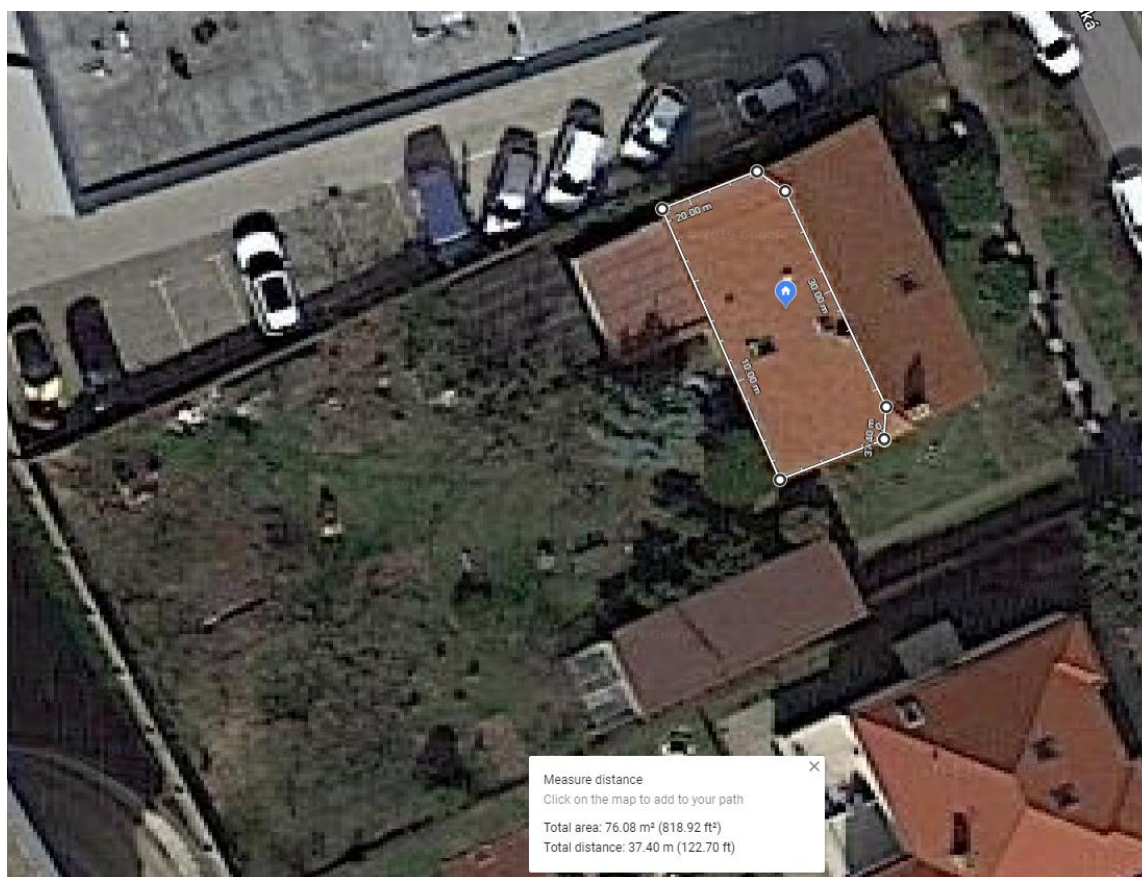
Spotřeba elektrické energie budovy je měřena elektroměrem, který je umístěn v zádveři.

Při možné realizaci fotovoltaické elektrárny, je nutné přemístit elektroměr do sloupku plotu. Současné požadavky distribučních společností, kladou podmínku umístění elektroměru na místo veřejně přístupné.

Rodinný dům vykazuje i přes kvalitní stavební materiál a zateplení, vyšší spotřebu elektrické energie. Roční spotřeba energie je kolem 5 MWh.

### **Znázornění umístění FVE systému na střechu rodinného domu**

Navrhovaná FV elektrárna je umístěna na sedlovou střechu rodinného domu orientovanou směrem jiho-západ. Tento směr střechy je téměř ideální pro získání maximálního slunečního svitu. Konstrukce střechy bez zásadních změn umožňuje instalaci fotovoltaického systému. Celková střešní plocha je přibližně 76 m<sup>2</sup>. Plocha je zvýrazněna na obrázku číslo pět. Použitelná plocha pro umístění panelů činní 23 m<sup>2</sup> v bodě 5.3 je uveden výpočet zjištění této hodnoty.



Obrázek 6 Střecha domu s vyznačením optimálního umístění panelů

## 5.2 Možnosti akumulace

### 5.2.1 Voda

Jednou z možností akumulace přebytečně vyrobené energie je její akumulace do vody. Touto akumulací se využije přebytečná energie neboli přetoky získané z FVE. Tímto se lépe využije energie na ohřev vody. Ohřátou vodu lze využít mnoha způsoby. Nejčastěji je to k přímé spotřebě, to znamená na koupání, či pro kuchyňskou spotřebu (mytí, úklid atd.) nebo pro použití v teplovodním systému (topení).

### 5.2.2 Baterie

Tento způsob akumulace je v současné době hojně žádán a využíván.

V této variantě jsou přetoky uchovávány v bateriích. Životnost takovýchto baterií je dána četností cyklů nabíjení a vybíjení. Baterie se nesmí zcela vybit, jinak se životnost výrazně zmenší. Baterie nesmí být vystaveny teplotním vlivům, jako jsou mrazy a vysoké teploty a proto nejsou určeny pro venkovní použití. Tyto vlastnosti jsou uvedené i v záručních podmínkách.

Největší nevýhodou je vysoká pořizovací cena. Další nevýhoda je v omezené životnosti samotných baterií, v jejímž důsledku je nutná minimálně jedna výměna celé sady za životnost FV elektrárny.

Výhodou takto uložené energie je možnost elektrickou energii využít mnoha způsoby, jako například napájení spotřebičů, ohřev vody atd. Zároveň tímto způsobem lze vykrýt špičky odběru energie v denním cyklu a pokrýt nesouměrnost výroby elektrické energie.

#### **Virtuální baterie**

Tento způsob akumulace se objevil teprve nedávno. Je to obdoba akumulace do baterií, neboť se přebytečná energie dodává do distribuční sítě energetické společnosti. Při odběru potřebné energie z distribuční sítě, platím za odebranou energii poplatky za distribuci a daň. Nevýhodou je měsíční platba za pronájem virtuální baterie. U firmy E.ON jsou ceny za virtuální baterii dle velikosti FVE na rodinném domě. 1 MWh.rok-1 je za 49 Kč.měsíc-1, 2 MWh.rok-1 za 99 Kč.měsíc-1, 3MWh.rok-1 za 149 Kč.měsíc-1, 4 MWh.rok-1 za 199 Kč.měsíc-1 a 4 a více MWh.rok-1 je za 499 Kč.měsíc-1 [10]. Ceny se mohou v průběhu let měnit.

### 5.2.3 Přímá spotřeba

Přímá spotřeba pojednává o možnosti využití elektrické energie, která je vyrobena z panelů, k okamžité spotřebě daného objektu. V této variantě je nutné přizpůsobit výrobní kapacitu

elektrárny k energetické náročnosti daného objektu. Tato varianta je optimální pro využití poměru vyrobené a spotřebované energie.

### 5.3 Samotný návrh FVE

Jak již bylo výše zmíněno, počítáme s plochou 23 m<sup>2</sup> pro umístění samotných panelů.

Rozměr byl stanoven tak, že celková plocha je vydělena dvěma (z ekonomického hlediska).

Následně se musel ještě o 8 m<sup>2</sup> zmenšit prostor střechy a to díky střešnímu oknu a komínu.

Panely se neumísťují na úplný okraj střechy. Zvolená vzdálenost od okraje je 1,5 m, v celkové ploše to činí 7 m<sup>2</sup> a to má za následek zmenšení užitečné plochy  $76/2 - 8 - 7 = 23$  m<sup>2</sup>.

#### Druh panelů

Na základě porovnání dostupných typů panelů, které jsou k dispozici na českém trhu a zároveň porovnáním jejich ceny a výkonu byl zvolen typ VSUN375-72M-BB. Tento typ je monokrystalický, neboli panel první generace. V případě použití panelu jiného typu (odlišné generace) není možné provést objektivní porovnání.

Zvolený panel má výkon 375 Wp [11]. Generuje maximální napětí, při optimálních podmínkách 39,4 V a proud 9,59 A [11]. Záruka je 12 let na panel. Účinnost přeměny činí 19,37 % s +/- 3 % [11]. Napětí naprázdno je 47,6 V [11], proud nakrátko je 9,98 A [11]. Rozměry panelu jsou (délka x šířka) 1980 x 1130. Plocha panelu je tedy 2,24 m<sup>2</sup>.

Bereme-li v úvahu plochu určenou na panely, která je známá a vydělíme jí plochou jednoho panelu, vychází nám 10,28 ks. Vypočtená hodnota musí být celé číslo, jelikož z konstrukčního hlediska nelze dělit panel. Výsledná hodnota je zaokrouhlena. Výsledný počet panelů je deset kusů o celkové výkonosti, pro uvažovaný rodinný dům 3,75 kWp.

#### Střídač

Střídač byl vybrán po konzultaci s firmou ČEZ, a.s. a na základě jejich spokojenosti s hybridními střídači Solax. Přesněji se jedná o typ X3-Hybrid-6.0T je to třífázový střídač s výkonem 6 kW a s dvěma sledovací bodu maximálního výkonu panelu (MPP tracker).

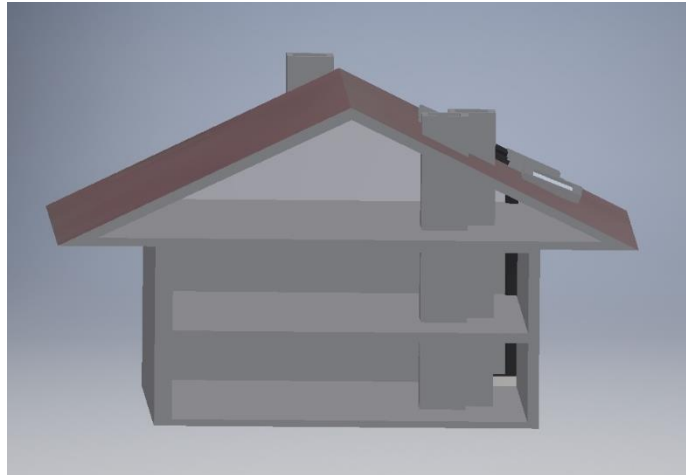
#### Baterie

Je využita spolupráce s firmou Solax a firmou Triple power a použije se typ baterie TriplePower 6,3 kWh. Životnost baterie je udávána na 6 000 cyklů. Celkovou kapacitu uložené energie lze až ztrojnásobit při zakoupení dalších baterií stejného typu a jejich paralelního zapojení do

systému. Jmenovitá kapacita baterie je zvolena 6,3 kWh, pro pokrytí při zvýšeném odběru energetických požadavků domu.

#### 5.4 Schéma zapojení FVE s akumulací v RD

Na 3D modelu, který je zobrazen na obrázku číslo šest, je znázorněn rodinný dům s předpokládanou instalací fotovoltaické elektrárny. Dále je zobrazen svod vyrobené elektrické



Obrázek 7 Schéma zapojení FVE s akumulací v RD

energie do baterií umístěných v technické místnosti v suterénu domu. Dům je pro lepší znázornění bez vnější boční stěny.

Na výše uvedeném obrázku číslo sedm je znázorněn 3D model předpokládaného umístění fotovoltaické elektrárny na sedlovou střechu.

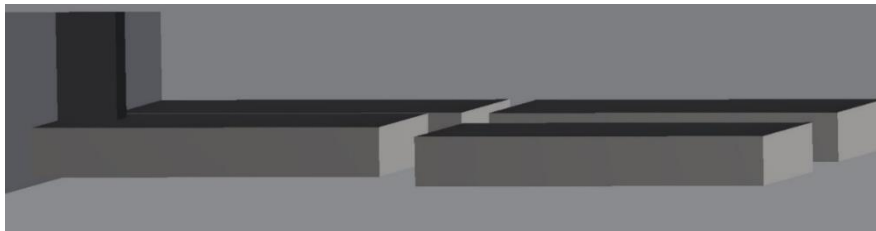


Obrázek 8 Detail uložení panelů na střechu rodinného domu

Fotovoltaické panely jsou umístěny dál od sebe, pro lepší proudění vzduchu. To má za následek v parních dnech lepší chlazení panelů a tím se zvyšuje jejich účinnost. Černá barva označuje elektrické kabely spojující panely.

Dále z obrázku číslo sedm jsou patrné komíny a střešní okno umístěné ve středu sedlové střechy. Tyto komíny slouží pro odvedení spalin z plynových karem.

Na obrázku číslo osm je detailnější pohled na technickou místnost a předpokládané uložení baterií i s technickou výbavou fotovoltaické elektrárny. Šedo-černě jsou značeny zmiňované baterie.



Obrázek 9 Detail uložení baterií v rodinném domě

## 6 Porovnání návrhů FVE s akumulačním zařízením a její návratnost

### 6.1 Nová zelená úsporám

Nová zelená úsporám je dotační program Ministerstva životního prostředí. Zaměřuje se na zmírnění energetické zátěže bytových či rodinných domů, výstavbu energeticky téměř soběstačných budov, přírodně šetrných zdrojů a jejich efektivní využití a zároveň obnovitelných zdrojů energie neboli OZE.

#### Dotace

Výše dotace se odvíjí dle systému a to od 35 000 až do 150 000 Kč. V níže uvedené tabulce číslo jedna je zvýrazněn typ systému, který se týká naší problematiky. Přihlášku pro uvedenou dotaci je možné podávat do konce roku 2021 anebo do vyčerpání alokace.

Typ systému	Výše podpory [Kč]
<b>Fotovoltaický systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem <math>\geq 3\,000</math> kWh.rok-1</b>	<b>100 000</b>
<b>Fotovoltaický systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem <math>\geq 4\,000</math> kWh.rok-1</b>	<b>150 000</b>

Tabulka 1 Výše dotace dle systému [12]

## 6.2 Zhodnocení FVE s akumulací

Porovnání provádíme v programu PVGIS [13]. Zároveň program zobrazí údajnou roční výrobu elektrické energie a s předpokládanou cenou za energii za kilowatthodinu. V neposlední řadě nám zobrazí i předpokládaný roční úbytek energie díky opotřebení systému.

	PRE, a.s.	ČEZ, a.s.	E.ON	Vlastní návrh
Typ panelů	AEG AS-M608 ALL BLACK MONO 300	IBIC Monosol 320 VLS-HC	firma neuvádí	VSIN375-72- BB
	Monokrystalické	Monokrystalické	Monokrystalic- ké	Monokrystalic- ké
Výkon panelu	300 Wp	320 Wp	305 Wp	375 Wp
Počet panelů	14 ks	14 ks	12 ks	10 ks
Celková plocha panelů	22,73 m <sup>2</sup>	23,24 m <sup>2</sup>	20,4 m <sup>2</sup>	22,4 m <sup>2</sup>
Cena FV panelů	53 513 Kč	89 082 Kč	firma neuvádí	41 700 Kč
Typ baterie	RCT Power Battery	ČEZ Nattery box 3F home	TriplePower	TriplePower
Kapacita baterie	5,76 kWh	4,8/7,2/9,6 kWh	4,5 kWh	6,3 kWh
Cena baterií	117 723 Kč	firma neuvádí	64 864,65 Kč	88 759,49 Kč
Typ střídače	GW4000 – DT	Je umístěn v boxu baterie	Solax X1- Hybrid-3.7 D-E	Solax X3- HYBRID-6.0T
Výkon systému	4,2 kWp	4,48 kWp	3,66 kWp	3,75 kWp
Předpokládaná roční výroba	4 612,39 kWh.rok-1	4 919,89 kWh.rok-1	4 019,37 kWh.rok-1	4 766,14 kWh.rok-1
Provozní náklady za 30 let	firma neuvádí	firma neuvádí	36 000 Kč	-
Životnost elektrárny předpokládaná firmou	25 let	30 let	30 let	25 Let
Cena bez DPH	274 642 Kč	343 400 Kč	266 000 Kč	236 536 Kč
Cena s DPH	315 839 Kč	404 000 Kč	305 900 Kč	278 278 Kč
Dotace NZÚ	150 000 Kč	105 000 Kč	105 000 Kč	105 000 Kč
Celková cena instalace	165 839 Kč	299 000 Kč	200 900 Kč	173 278

Tabulka 2 Souhrnný přehled firemních nabídek a vlastního návrhu

V tabulce číslo dvě je souhrn základních a důležitých dat z jednotlivých nabídek od oslovených společností a vlastního návrhu. Z těchto dat je na straně osmnáct provedeno zhodnocení a porovnání.

Jednotlivé nabídky se navzájem liší zejména ve výkonu systémů a jejich cen.



Odhad generování energie ze slunečního osvitů:

V tabulce číslo tři jsou uvedené vstupní parametry, které byly vloženy do programu PVGIS. Vstupní data byla použita ze získaných nabídek od oslovených společností, včetně vlastního návrhu a z technických údajů rodinného domu.

GPS souřadnice	50.041, 14.442
Horizont	Vypočteno
Použita databáze	PVGIS – SARAH
FV článek	Krystalický
FVE instalován výkon	4,2/4,48/3,66/3,75 kWp
Ztráty systému	5 %
Úhel naklonění	35 °
Orientace	Jiho-západ

Tabulka 3 Vložená data do PVGIS

V níže uvedené tabulce číslo čtyři jsou zobrazena data, která nám program PVGIS vygeneroval.

Podrobnější data vygenerovaná v programu PVGIS jsou uvedena v tabulce číslo šest, která je v příloze. Z dat jsou patrné rozdíly mezi nabídkami od společností a vlastním návrhem.

	PRE, a.s.	ČEZ, a.s.	E.ON	Vlastní návrh
Výroba energie z FVE za rok	4 612,39 kWh	4 919,89 kWh	4 019,37 kWh	4 117,96 kWh
Roční sluneční intenzita	1245,49 kWh.m-2	1 245,49 kWh.m-2	1 245,49 kWh.m-2	1 245,49 kWh.m-2
Roční ztráta díky opotřebení	187,05 kWh	199,52 kWh	163,00 kWh	166,95 kWh
Změny produkce energie díky:				
ztrátovému úhlu	-3,09 %	-3,09 %	-3,09 %	-3,09 %
opotřebení zářeniím	1,60 %	1,60 %	1,60 %	1,60 %
výkyvy teplot	-5,73 %	-5,73 %	-5,73 %	-5,73 %
Celkové ztráty roční	-11,83 %	-11,83 %	-11,83 %	-11,83 %
Cena elektrické energie z FVE	2,157 za kWh	3,241 za kWh	2,666 za kWh	2,525 za kWh

Tabulka 4 Vygenerovaná výstupní data z programu PVGIS

Z tabulky číslo čtyři jsou patrné rozdílné údaje a to zejména výroby energie z FVE za rok, roční ztrátě díky opotřebení a ceny elektrické energie z FVE za jednu kilowatthodinu.

## **Porovnání nabídek FVE**

V tabulce číslo dvě je uveden souhrnný přehled od jednotlivých oslovených firem. Včetně návrhu FVE s akumulací. Návrh byl vypracován na základě získaných podkladů a informací, týkajících se jednotlivých komponentů pro instalaci FVE s akumulací.

Porovnáme-li celkovou konečnou cenu (vč. DPH) instalované elektrárny s akumulací, vychází nejuvšhodněji nabídka od společnosti PRE, a.s.

Porovnáme-li zmíněnou nabídku s vlastním návrhem, pak rovněž vychází lépe nabídka od společnosti PRE, a.s.

Při využití poskytované dotace od NZÚ, vychází jako optimální nabídka od společnosti PRE, a.s., která nabízí největší možnou dotaci na instalaci fotovoltaické elektrárny.

Z hlediska předpokládané životnosti elektrárny vychází nejlépe nabídky od společností ČEZ, a.s. a E.ON, které mají životnost o pět let delší, celkově mají o jednu pětinu delší životnost oproti společnosti PRE, a.s. a vlastnímu návrhu.

Budeme-li porovnávat předpokládanou roční výrobu elektrické energie, uvedené v tabulce číslo šest v příloze, vychází nám nabídka od společnosti ČEZ, a.s. jako vítězná.

Srovnáme-li ceny elektrických energií vyrobených ve FVE za celou životnost z poskytnutých nabídek, vychází nejuvšhodněji nabídka od společnosti PRE, a.s v hodnotě 2,157 Kč za kWh přepočtenou na cenu celkové instalace systému.

Z tabulky číslo čtyři jsou patrné roční ztráty díky opotřebení. Porovnáme-li nabídky a vlastní návrh, vychází nám nejmenší ztráty v nabídce od společnosti E.ON ve výši 163 kWh za rok. Tato hodnota byla zjištěna v programu PVGIS. Nejméně výhodná je nabídka od společnosti ČEZ, a.s.

Společnost PRE, a.s. nabízí při pořízení FVE služby zahrnující termovizní kontroly FV panelů, online monitoring výroby elektřiny (službu nabízí i ČEZ, a.s. a E.ON), vzdálený přístup a dohled k systému fotovoltaické elektrárny.

Na základě celkového zhodnocení všech nabídek a služeb vychází nejlépe nabídka od společnosti PRE, a.s.

## 7 Předpokládaná životnost FVE a její likvidace

### 7.1 Životnost FVE

Životnost FVE je dána hlavně dobou životnosti FV panelů, které tvoří největší část celkové investice. Další majoritní část investice tvoří baterie.

Předpokládaná životnost FV panelů se udává mezi 25 až 30 lety. Při průměrné životnosti FV panelů 25 let, výrobci garantují pokles účinnosti výroby elektrické energie, že neklesne pod 80 %.

Životaschopnost FV panelů je ovlivněna působením atmosférických podmínek, které jsou v místě jejich instalace. Mezi tyto podmínky se řadí extrémní teploty a tlaky, mechanická poškození (kroupy, ptáci apod.) a teplotní výkyvy. Odolnost panelů je zkoušena dle normy ČSN EN 12975-2. Tato zkouška není požadovaná, ale pro získání certifikace nebo dotace je zkouška jednou z podmínek.

Samotný panel ztrácí výkonost okolo 0,5 % za rok. Typy panelů tenkovrstvých (thin-film) degradují rychleji než panely, které jsou vyrobeny z mono či polykrystalů. Ztrátu výkonosti způsobuje degradace materiálů. Prvních pár let degradují rychleji oproti zbytku své životnosti. Stárnutí neboli degradaci způsobuje sluneční UV záření dopadající na panel.

Bohužel v současné době se neví, co se stane s panely po pětadvaceti letech, jelikož se používají neustále nové technologie výroby a vyvíjejí se stále kvalitnější a nové materiály. To spěje k závěru, že momentálně nejsou objektivní data, ze kterých lze vycházet.

Pro zajímavost, první vyrobený solární panel je po šedesáti letech stále funkční, ale vyrábí pouze napětí 1,5 V. Tento panel sestavil britský přírodovědec, který chtěl představit nový nápad, že bychom mohli sluneční energii přeměnit na energii eklektickou [16].

Některé firmy zabývající se instalací FV panelů hlásí, že mají ještě pár panelů funkčních po třiceti letech, anebo se blíží třiceti letům služby a stále generují elektrickou energii. Zároveň udávají výměnu baterií a elektroniky minimálně jednou za předpokládanou životnost panelů (25 let).

V tabulce číslo pět jsou uvedeny procentní ztrátové výkony podle jednotlivých generací fotovoltaických článků.

Typ solárního panelu	Ztráta výkonu v procentech za rok
První generace	0,36
Druhá generace	0,64
Třetí generace	0,87
Čtvrtá generace (obsahující CIGS materiály)	0,96
Čtvrtá generace (Kadminovovo- Telurové, CdTe)	0,40

Tabulka 5 Ztráta výkonosti panelu za rok [17]

## 7.2 Likvidace

V dnešní době se řeší nakládání s vysloužilými FV panely. Evropský parlament vydal v roce 2012 závaznou směrnici: Směrnice evropského parlamentu a rady 2012/19/EU ze dne 4. července 2012 o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (OEEZ) [18] týkající se i povinnosti vracení zpět do výroby materiály z FV panelů. Musí být využito 85 % [18] dále musí být připraveno k opětovnému použití a recyklováno 80 % [18]. To znamená, že se může 10 % použít pro výrobu energie. Zbýlých 5 % lze ještě umístit na skládku odpadů.

### **Zpracování FV panelů se skládá ze dvou hlavních kroků**

1. Oddělení samotných FV článků. V tomto kroku se separují samotné články od FV panelů a to za pomoci chemických či termických metod.
2. Očištění povrchu FV článků. Během této fáze se oddělený článek čistí chemicky nebo laserovou technologií. Z povrchu se odstraní nežádoucí vrstvy (P-N přechod, antireflexní vrstva a kovy).

Aktuálně se používají metody zpracování FV panelů, a to termická a mechanicko – chemická, ale existuje ještě chemická metoda. Současně se vyvíjí i optická metoda.

### 7.2.1 Chemická metoda

Chemická metoda byla hojně zkoumána na začátcích recyklačních procesů pro FV panely. Byla vyvinuta leptací sloučenina pro leptání článků složených z CdTe.

Po rozdrčení FV panelů kladivovým mlýnem jsou rozdrčené panely vystaveny působení kyseliny sírové a peroxidu vodíku. Vrstva EVA se oddělí od skla. Cd a Te se řeší jako sloučenina, která je poleptána uhličitánem sodným. Takto se získá uhličitán kadmia a oxid teluria. Cd a Te mohou být získávány pomocí působení tepla či chemickým procesem rafinace kovů [19].

Významná nevýhoda této metody spočívá v době působení leptání, pro získání přijatelného výsledku. Další nevýhodou je nedostačující účinnost. Také drahé leptací sloučeniny jsou nevýhodou. Z těchto uvedených nevýhod je patrné, že tato metoda je nevhodná pro komerční využití. Díky tomu byly vyvinuty jiné metody a je prováděn další výzkum.

Na druhou stranu je běžná metoda kombinující chemický a mechanický proces. Tato kombinace byla vyvinuta a komercializována firmou First Solar.

### 7.2.2 Termická metoda

Jedná se o nejvyspělejší zpracování složek FV panelů. Zároveň je vhodná pro všechny druhy panelů, obsahující krystalické články. Výtěžnost této metody se pohybuje kolem 85 % [20].

Postup zpracování je následující:

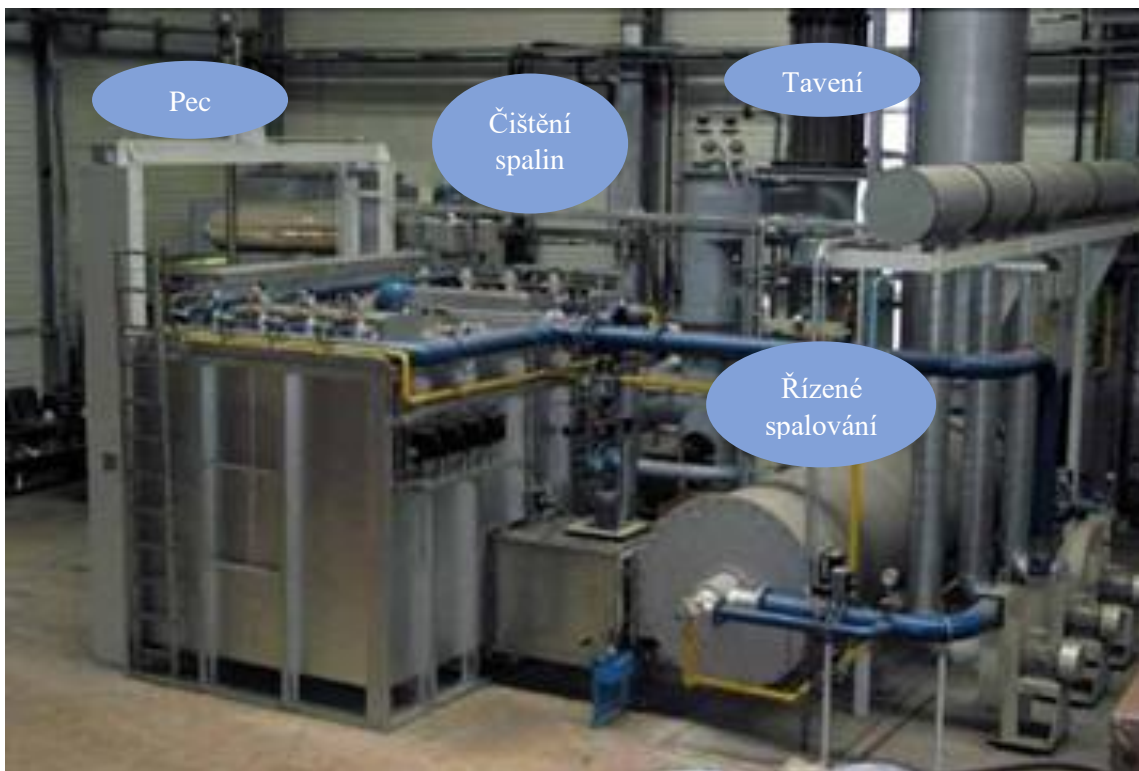
Nejdříve se panely demontují od hliníkového rámu, který se dále využije ve 100 % [20]. Skleněná část je zaslána do skláren k dalšímu zpracování. Ze skla se vrátí do oběhu 95 % [20]. Zbylá část po demontáži se vloží do pece o teplotě 420 °C [20]. Následně se pec postupně zahřívá s teplotním gradientem pohybující se kolem 20 °C.min<sup>-1</sup> [20]. Doba zahřívání trvá 25 minut [20]. Tato teplota způsobí, že se plastové části přeměňují na plynnou látku (odpařují se). Vzniklé plyny se v následující části zachycují a řízeně spalují. Získané teplo se vrací a využívá pro vyhřívání pece. Zároveň vznikající spaliny se čistí a postupně se vypouštějí do ovzduší. Teplota způsobí, že se od sebe oddělí jak zmíněné plastové části, tak FV články od jejich ochranného skla.

Zbylý materiál se přemístí na linku, kde se manuálně oddělují samotné články. V další fázi zpracování se křemičité destičky leptají. V poslední fázi se rozbité samotné články roztaví.

Výtěžnost je 85 % [20] křemíku pro opětovné využití. Tímto procesem lze energetickou náročnost zmenšit až na 70 % [20] pro výrobu nových FV panelů. Délka procesu pro jeden FV článek činí 25 minut. Při použití této metody jsou nejnákladnější chemické sloučeniny pro leptání.

Hlavní nevýhodou této metody je tvorba emisí v průběhu tepelného zpracování v peci. Zároveň je tento proces energeticky náročnější.

Zařízení na zpracování fotovoltaických panelů je zobrazeno na obrázku číslo devět.



Obrázek 10 Termické recyklační zařízení pro krystalické panely [21]

### 7.2.3 Mechanická metoda.

Tato metoda se využívá pro celé fotovoltaické panely, které byly vyřazeny. Metoda zahrnuje mechanické a hydrometalurgické zpracování.

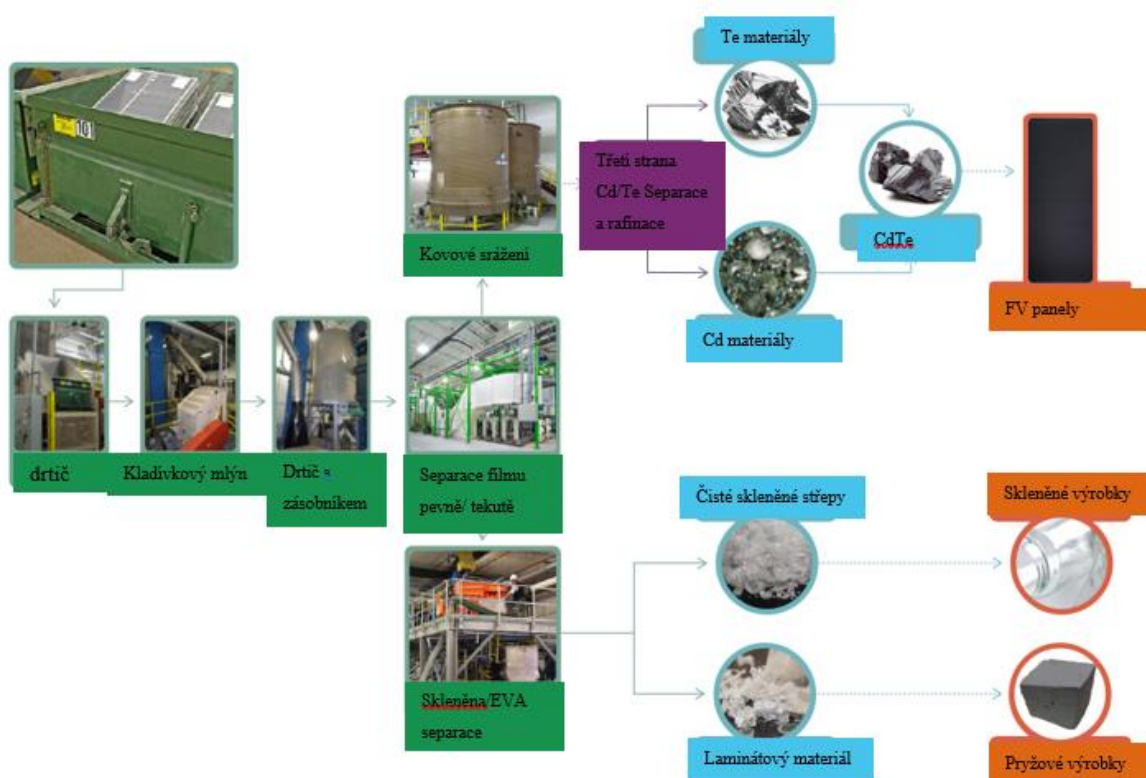
Postup je následující:

Hliníkové rámy, které byly silikonově slepeny a sešroubovány se demontují. Zároveň se demontuje i přípojovací box. Následuje rozřezání FV panelů na dvě poloviny. V další fázi dochází k válcování a rozřezání FV panelů na části pomocí hydraulických nůžek, pro lepší

drcení na řetězovém drtiči. Nastřihané části panelů jsou pomocí dopravníku přesunuty do řetězového drtiče. Řetězový drtič je rozdrťí na menší kusy a frakce. Velikost rozdrčených kusů je úměrná zadané velikosti příslušného drtícího programu. Takto získaný materiál se dále dělí na jednotlivé frakce dle velikosti. Rozdělení probíhá za pomoci mechanických odlučovačů a velikost frakce se dále rozdělí pomocí sít. Po rozdělení dle frakcí a velikosti pokračují materiály do chemických a metalurgických závodů [20].

Rozdrčený materiál z ochranných skel a silikonových částí tvoří nejmenší frakci, jednou z největších frakcí tvoří plasty.

Postup v mechanické metodě po krocích je zobrazeno na obrázku číslo deset.



Obrázek 11 Znázorněny kroky v mechanické metodě [22]

## 7.2.4 Mechanicko-chemická metoda

Jak je z názvu patrné jedná se o kombinaci metody mechanické a chemické.

Jako v předchozích metodách se z FV panelů odstraní hliníkové rámy a přípojovací boxy. Následně se struktura FV panelů pod infračerveným ohříváčem zahřeje na 90 – 120 °C [23]. Po zahřátí se vloží do válčovny a poté do vibračního nože. Tímto postupem se oddělí sklo, které je možno využít pro výrobu nových panelů.

V další fázi se zbývající materiál zahřeje na 500 °C [23]. Ke vznícení dojde dosáhne-li teplota 850 °C [23]. Vysoká teplota způsobí oddělení kovů od křemičitého článku. Z plastů vznikající spaliny se zachycují a regenerují. Spaliny se využívají ke zpětnému procesu zahřívání.

Oddělené kovy jsou pomocí chemických metod regenerovány. Křemičité články jsou leptány kyselinou dusičitou a následně dojde k oddělení křemíku. Získaný křemík nelze využít opět pro FV panely, a to z důvodu nízké čistoty.

### 7.2.5 Optická metoda

Optická metoda nám dává alternativu již k využívaným metodám na zpracování FV panelů. Tuto metodu vyvíjí firma Loser Chemie. Vyvíjející optický přístup k oddělení skla a skleněné struktury [24].

Po klasickém odstranění hliníkových rámu a přípojovacích boxů se panel vloží do optického zařízení. Pro optické zpracování existují dvě možnosti.

První možnost využívá laser a druhá je žíhání pomocí zábleskových lamp. Předpokládaná doba působení světla je jedna minuta na fotovoltaický panel. Po optickém zpracování jsou krycí skla a podkladová skla odděleny. Vrstvy sloučenin, například CdTe či CIGS, se ošetří chemickým způsobem za využití kyseliny methansulfové.

Kovy ve vrstvách lze separovat a regenerovat jako jednotlivé sloučeniny. Sloučeniny jsou následně recyklovány a čištěny ve společnostech, které dále zpracovávají příslušné kovy.

### 7.2.6 Postup v naší zemi

V naší legislativě je zakotven recyklační poplatek, který je započten v ceně prodávaného produktu. Poplatek nám říká, že za produkt jsou již zaplacené náklady na jeho ekologickou likvidaci či recyklaci.

Zpětný odběr panelů zajišťují firmy REsolar s.r.o, REMA PV Systém a ASEKOL. ASEKOL je neziskovou společností, která zajišťuje sběr, dopravu a recyklaci vysloužilých elektrospotřebičů. Současně celou operaci financuje. Společnost se řadí mezi kolektivní systém zpětného odběru elektrozařízení. Zároveň spolupracuje s obcemi i městy, prodejci či servisy, svozovými firmami, a i zpracovateli elektrozařízení po zpětném odběru.

Zpětný odběr FV panelů zajišťuje, již zmíněná firma ASEKOL, přesněji její podskupina ASEKOL Solar s.r.o. Zpracování samotných FV panelů zajišťuje externí certifikovaný



zpracovatel, který má k dispozici vlastní zpracovatelskou linku a zajišťuje uskladnění a předání surovin dalším zpracovatelům.

Externí firma likvidující FV panely je v České republice AQUATEST, a.s. Činností společnosti není jen odpadové hospodářství, ale například vyhledávání a mapování nových vodních zdrojů a jejich ochrana atd.

Zmíněná společnost využívá na zpracování panelů metodu mechanickou. Postup ve společnosti při zpracování je následující:

Nejprve se společnost AQUATEST, a.s. domluví s firmou ASEKOL Solar s.r.o., REMA PV Systém anebo REsolar s.r.o. na termínu převzetí vyřazených FV panelů. Zároveň s tím zajistí odběr rozdrčených panelů s firmou Galmet spol. s.r.o. Vzhledem k tomu, že získaný materiál z procesu zpracování nesmí přijít do kontaktu s vlhkostí, aby nedošlo ke znehodnocení produktu. Za druhé uvolnění skladovacího místa na místě zpracování.

Jak bylo výše zmíněno využívá se metoda mechanická. Nejprve se demontují hliníkové rámy, odstříhnou se připojovací kabely a odstraní se “black box“. Hliníkové rámy se rozstříhnou na půl a skladují se. Rámy se prodají kovohutím. Kabely se prodají firmě, která je využije na další zpracování. Samotné panely se z technických důvodů rozpůlí a vloží do válcovací stolice a tím dojde k rozdrčení skla. Sklo se odseparuje od zbylé části. Sklo je téměř bez příměsí a prodává se sklárnám pro další využití. Sklo se uchovává ve speciálních vacích o hmotnostech 500 – 600 kg. Následně se rozpůlené části panelů vloží do jedno rotorového stroje, který nařeže panely na jednotlivé pásy. Pásy dále putují v pásovém dopravníku do řetězového drtiče. Drtič rozseká pásy panelů na menší části. Části se dopravují v pásovém dopravníku do vaků (bagů) ke skladování. Tyto části se prodají firmě Galmet spol. s.r.o., která z těchto částí vylouhuje stříbro a zbytek předá k odstranění.

V příloze jsou přiloženy fotografie z popsaného procesu. Obrázek číslo jedenáct znázorňuje polovinu linky na zpracování vyřazených spotřebičů (včetně FV panelů). Další obrázek (číslo dvanáct) představuje FV panely po druhé fázi jejich recyklace tj. po rozpůlení FV panelu. Řetězový drtič je zobrazen na obrázku číslo třináct. Výsledný produkt po mechanickém zpracování fotovoltaických panelů je znázorněn na obrázku číslo čtrnáct. Amorfní panel připravený na zpracování na zmíněné lince je zobrazen na obrázku číslo patnáct. Výsledný zpracovaný amorfní panel po mechanické metodě je znázorněn na obrázku číslo šestnáct.

Za jednu pěti hodinovou směnu jsou schopni zpracovat 60 – 80 panelů. Jedna směna získá materiál o hmotnosti 500 – 600 kg. Provoz linky pro zpracování fotovoltaických panelů je experimentální. Lze na lince zpracovávat různé materiály počínaje plastovými výrobky a konče počítači.

Na lince je možno zpracovávat všechny generace panelů, pouze amorfní panely se rozdrtí v první části na kusy a hned se dopraví do bagů na skladování a předají se firmě, která z částí odseparuje potřebné materiály.

Tento proces je diskontinuální a to z důvodu, že se vyřazené panely pohybují kolem desítek za rok. Nejvíce poškozených panelů je při extrémním počasí, jako například byla bouře Sabina.

Na Moravě se nachází ještě jedno místo na zpracování poškozených či vyřazených amorfních FV panelů. Momentálně je ve fázi experimentálního provozu. Klade si za cíl sekundární využití surovin z panelů k výrobě stavebního materiálu.

### 7.2.7 Návrh likvidace

Osobně bych navrhoval od firem zabývajících se instalací fotovoltaických panelů, aby byla možnost, za menší poplatek, odkoupení panelů pro soukromé účely. Poškozené panely vyřazené firmami (například poškozené ochranné sklo) mohou stále generovat elektrickou energii. Takto poškozené panely by byly schopny pokrýt spotřebu menších spotřebičů. Umístěny by mohly být například na garážích, stodolách atd. Zde by sloužily k napájení menších spotřebičů jako například osvětlení, nabíječky apod. Tímto způsobem se prodlouží a využije životnost panelů o několik roků.

Bohužel tato možnost odpadá z důvodu, že firmy instalující panely zaplatily recyklační poplatek a tím se zavázaly k odevzdání vyřazených panelů firmě, která se věnuje ekologické likvidaci elektroodpadů.

## 8 Výsledky a jejich hodnocení

Je zpracován návrh fotovoltaické elektrárny na rodinný dům. Nejprve byl objekt podrobněji představen. Následně byla zmíněna možnost, jak využít vygenerované přetoky vyrobené energie v bodě 5.2. V tomto bodě vychází jako optimální řešení uložení přetoků energie do baterií. V bateriích je jasná výhoda, která byla zmíněna v bodě 4.2.2. Z logiky věci je optimální variantou a to i pro uživatele budovy. Ve vlastním výběru panelů nejlépe vyšel typ VSUN375-72M-BB, vzhledem k poměru ceny a výkonu jako nejlepší je baterie o celkové jmenovité kapacitě 6,3 kWh.

Byly porovnány nabídky od největších tuzemských firem. Nejpřehlednější nabídka je od firmy PRE, a.s., která zahrnuje kompletní přehled úkonů potřebných pro instalaci a jejich ceny. Zároveň tato firma je po celkovém porovnání, optimální volbou pro případnou budoucí instalaci systému na střechu rodinného domu.

V poslední části se práce zabývá životností a likvidací fotovoltaických panelů. Zjištěno bylo, že uváděná životnost fotovoltaických panelů je v rozmezí 25 – 30 let. Společně s uváděným úbytkem vyrobené elektrické energie každým rokem nastává pokles výroby energie. Výrobci garantují pokles účinnosti výroby energie na 80 % za 25 let. V tomto ohledu vychází první generace fotovoltaických článků nejvýhodněji. Dále byly představeny možné způsoby likvidace panelů. Nejvíce využívaný způsob v globálním měřítku je metoda mechanicko-chemická. V Evropě tuto metodu nejvíce využívá společnost VEOLIA, která má ve Francii nově otevřenou provozovnu na recyklaci fotovoltaických panelů v průmyslovém měřítku. V českých zemích se likvidací zabývá společnost AQUATEST, a.s. Na Moravě existuje firma, která panely recykluje a získané suroviny zpracovává pro stavební účely.

Jelikož jsou stále recyklační metody pro fotovoltaické panely ve fázi zkoumání, zaměřil bych se hlavně na metodu mechanicko – chemickou a na optickou metodu. V optické metodě je vidět potenciál v lepším separování skla a jeho širším využití ve sklárnách.

Díky legislativním problémům se provozovatelé obávají ztráty dotací a to proto, že by nesplnily podmínky. Při náhradě panelů, se musí zachovat podmínky, které odpovídají parametrům uvedeným v dokladech. Poškozený panel se musí skladovat, jelikož předání na zpracování se může provést pouze od určitého množství panelů.

## 9 Závěr

V bakalářské práci byla popsána problematika výběrů návrhů fotovoltaických elektráren od tuzemských nejznámějších společností. Dále se práce věnuje problematice ekologické likvidace a využití získaných materiálů z fotovoltaických panelů. Práce se zaměřila na návrh fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům s akumulací vyrobené elektrické energie.

Celkovým aktuálním vývojem fotovoltaického článku můžeme říci, že první generace neboli monokrystalické, se nejvíce využívají pro instalace fotovoltaických elektráren. Druhou generací se pomalu začínají obměňovat prvotní instalované elektrárny, které vznikly v období “solárních baronů“. Třetí generace je s malou účinností, ale citlivou na difúzní záření aplikována v omezené míře. Čtvrtá generace se objevila teprve nedávno a momentálně se nachází ve fázi vývoje.

Uložení přebytečné energie vyrobené z fotovoltaické elektrárny vychází jako optimální již mnohokrát zmíněné uložení této energie do bateriového systému.

V práci jsou z oslovených společností, získány jejich nabídky pro instalaci fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům s akumulací energie do baterií. Současně ze získaných poznatků byl zpracován vlastní návrh fotovoltaické elektrárny a porovnány jednotlivé parametry. Na základě získaných výsledků a parametrů vychází jako optimální nabídka, nabídka od společnosti PRE, a.s.

Pro likvidaci fotovoltaických panelů ve světovém měřítku je nejvyužívanější metoda mechanicko-chemická. Termická metoda je nejvíce prozkoumána a lze s ní docílit zmenšení energetické náročnosti při výrobě nových fotovoltaických panelů až na 70 % [20]. Optická metoda je nejmladší metoda a je ve fázi hlubokého zkoumání pro komerční využití.

Společnost AQUATEST, a.s. je jedinou firmou v České republice zaměřenou na kompletní likvidaci vyřazených fotovoltaických panelů.

Závěrem bakalářské práce je výsledek, že optimální společnost pro realizaci instalace fotovoltaické elektrárny s akumulací do baterií je společnost PRE, a.s.

Nadále je nutné se věnovat problematice likvidace fotovoltaických panelů a to z důvodů zachycování vzácných kovů pro další či opětovné využití. Další důvod je, že za pár let se z jednotek vyřazených panelů stanou stovky a množství dále poroste.

## 10 Seznam použitých zdrojů

- [1] Fotovoltaika, [online], dostupné z www: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika>, převzato 3.2.2020
- [2] Princip fotovoltaiky [online], dostupné z www: <https://www.solartec.cz/rodinne-domy-a-strechy/fotovoltaika/princip-fotovoltaiky>, převzato 7.8.2019
- [3] Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů [online], dostupné z www: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/konstrukce-a-vyroba-fotovoltaickych-clanku-a-panelu--10310>, převzato 31.10.2019
- [4] Fotovoltaika [online], dostupné z www: <http://www.isolar.cz/technologie.html>, převzato 31.10.2019
- [5] SOLÁRNÍ ČLÁNKY 3. GENERACE [online], dostupné z www: [http://www1.fs.cvut.cz/stretech/2017/sbornik\\_2017/pdf/33.pdf](http://www1.fs.cvut.cz/stretech/2017/sbornik_2017/pdf/33.pdf), převzato 7.8.2019
- [6] Solární Novinky [online], dostupné z www: <http://www.solarninovinky.cz/>, převzato 31.10.2019
- [7] Technologie [online], dostupné z www: <http://www.isolar.cz/technologie.html>, převzato 7.8.2019
- [8] Inorganics-in-Organics': recent developments and outlook for 4G polymer solar cells [online], dostupné z www: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2013/nr/c3nr02733c#imgfig1>, převzato 10.3.2020
- [9] Úvod do FV systémů [online], dostupné z www: <http://www.cne.cz/seniori/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>, převzato 13.8.2019
- [10] E.ON Česká republika, s.r.o.
- [11] ENF Solar – Solar Companies and Products [online], dostupné z www: <https://www.ensolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/43198>, převzato 7.1.2020
- [12] Rodinné domy – zdroje energie [online], dostupné z www: <https://www.novazelenausporam.cz/nabidka-dotaci/rodinne-domy-zdroje-energie/>, převzato 27.11.2019

- [13] PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM [online], dostupné z www: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP), převzato 20.1.2020
- [14] Pražská energetika, a.s.
- [15] Skupina ČEZ, a.s.
- [16] World's First Modern Solar Panel Still Works After 60 Years [online], dostupné z www: <https://inhabitat.com/worlds-first-modern-solar-panel-still-works-after-60-years/>, převzato 10.2.2020
- [17] Everything You Need to Know About Operations & Maintenance (O&M) For Utility Scale PV Solar Plants, [online], dostupné z www: <https://medium.com/@solar.dao/everything-you-need-to-know-about-operations-maintenance-o-m-for-utility-scale-pv-solar-plants-9d0048e9b9a2>, převzato 10.12.2019
- [18] European Union [online], dostupné z www: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0019&from=EN>, převzato 17.12.2019
- [19] A Review of Recycling Processes for Photovoltaic Modules [online], dostupné z www: <https://www.intechopen.com/books/solar-panels-and-photovoltaic-materials/a-review-of-recycling-processes-for-photovoltaic-modules>, převzato 15.2.2020
- [20] Methods for recycling photovoltaic modules and their impact on environment and raw material extraction [online], dostupné z www: <https://actamont.tuke.sk/pdf/2017/n3/4strachala.pdf>, převzato 30.12.2019
- [21] Recyklace fotovoltaických panelů na konci životnosti [online], dostupné z www: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltaiickych-panelu-na-konci-zivotnosti>, převzato 3.1.2020
- [22] Reuse and Recycling for a Circular Economy [online], dostupné z www: <http://pvthin.org/life-cycle-analysis>, převzato 3.1.2020
- [23] IEA Photovoltaic Power Systems Programme [online], dostupné z www: <http://www.iea-pvps.org/>, převzato 2.1.2020
- [24] Loser Chemie GmbH [online], dostupné z www: <https://lc-freiberg.de/?lang=en>, převzato 14.2.2020

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma a struktura fotovoltaického článku [2] .....	5
Obrázek 2 Obrázek vývoje fotovoltaických článků [8] .....	7
Obrázek 3 Konstrukce fotovoltaického panelu [9] .....	7
Obrázek 4 Rodinný dům.....	9
Obrázek 5 Střecha domu s vyznačením optimálního umístění panelů .....	10
Obrázek 6 Schéma zapojení FVE s akumulací v RD.....	13
Obrázek 7 Detail uložení panelů na střeše rodinného domu .....	13
Obrázek 8 Detail uložení baterií v rodinném domě .....	14
Obrázek 9 Termické recyklační zařízení pro krystalické panely [21].....	22
Obrázek 10 Znázorněny kroky v mechanické metodě [22] .....	23
Obrázek 11 Stoj na odstranění skla z FV panelů .....	37
Obrázek 12 Polovina FV panelů po odstranění skleněné vrstvy .....	37
Obrázek 13 Řetězový drtič .....	38
Obrázek 14 Amorfni FV panel připraven na drcení.....	39
Obrázek 15 Výsledný produkt po mechanické metodě zpracování FV panelů .....	39
Obrázek 16 Amorfni FV panel po rozdrcení .....	39

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Výše dotace dle systému [12] .....	15
Tabulka 2 Souhrnný přehled firemních nabídek a vlastního návrhu.....	16
Tabulka 3 Vložená data do PVGIS.....	17
Tabulka 4 Vygenerovaná výstupní data z programu PVGIS .....	17
Tabulka 5 Ztráta výkonosti panelu za rok [17] .....	20
Tabulka 6 Intenzita osvětlení a předpokládaná produkce pro rodinný dům.....	40

## Seznam použitých zkratk

FV	fotovoltaika
FVE	fotovoltaická elektrárna
RD	rodinný dům
NZÚ	Nová zelená úsporám
UV	Ultrafialové záření
OEEZ	Směrnice o odpadních elektrických a elektronických zařízeních
DPH	Daň z přidané hodnoty
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PVC	polyvinylchlorid
1G	první generace fotovoltaických článků
2G	druhá generace fotovoltaických článků
3G	třetí generace fotovoltaických článků
4G	čtvrtá generace fotovoltaických článků



# 11 Přílohy

## 11.1 Nabídka fotovoltaické elektrárny od společnosti PRE, a.s

Dotace	NZU ( C.3.7) - XL aku	dotace ve výši:	150 000 Kč	VELIKOST SYSTÉMU	kWp	4,2	
výsledná cena investice	165 839,- Kč	Region (SM/SC)	NE	Meziroční elektriny	výroba	kWh/rok	3990
<b>Nabídka fotovoltaického systému na klíč:</b>							
						<b>počet ks</b>	<b>cena celkem bez DPH</b>
<b>Na fotovoltaický systém použijeme následující fotovoltaické panely</b>							
AEG AS-M608 ALL BLACK MONO 300		300	Wp		14	44 226 Kč	
<b>Fotovoltaické (hybridní střídače)</b>							
GW4000 -DT / 3F / 2MPP				28 070 Kč	1	28 070 Kč	
				- Kč	0	- Kč	
				- Kč	0	- Kč	
<b>Akumulátory a příslušenství</b>							
RCT Power Battery 5,76kWh (5,18kWh) vč.přísl. -AKCE_BAT / LiFePO4				97 292 Kč	1	97 292 Kč	
				- Kč	0	- Kč	
				- Kč	0	- Kč	
<b>Ostatní komponenty</b>							
				<b>cena za ks/sadu</b>			
Montážní systém (konstrukce) pro šikmé střechy -taška				980,00 Kč	14	13 720 Kč	
Watt router Mx/regulator přebytků, montáž a spotř. Mat. (pro 1f FVE - SSR 20A)				9 990,00 Kč	1	9 990 Kč	
elektro materiál, rozvaděč, kabeláže a ostatní elektro (ostatní hybrid do 10kW)				17 894,00 Kč	1	17 894 Kč	
bojler/ zásobník TUV 300 ltr +topné jednotky 6kW				21 943,00 Kč	0	- Kč	
přepětové ochrany (sada)				4 987,00 Kč	1	4 987 Kč	
drobný instalační materiál a elektromateriál (paušál)				3 985,00 Kč	1	3 985 Kč	
<b>Práce a další služby</b>							
Projektová dokumentace, revize, zpráva, ostatní zkoušky				5 890,00 Kč	1	5 890 Kč	
Zastupování (PDS / distribuční spol., Licence ERU (pokud je třeba), NZU,.... (neobsahuje energetický posudek pro NZU, kolky a případné poplatky)				1,00 Kč	1	1 Kč	
<b>Montážní práce</b> (instalace panelů), elektroinstalace, technická kontrola a uvedení do provozu, zkušební provoz a nastavení syst.,monitoringu, regulace				37 896,60 Kč	1	37 897 Kč	
Instalace nádrže na TUV (napojení na systém TUV) - plastové vedení standard				4 000,00 Kč	0	- Kč	
Doprava osob, logistika materiálu a technologií (komplet) Hybrid s AKU				9 990,00 Kč	1	9 990 Kč	
příplatek za kabelovou smyčku (pro Backup) / cena za metr nad standard (s12m)				381,00 Kč	0	- Kč	
recyklační poplatek - panely				50,00 Kč	14	700 Kč	
příplatek za instalaci velkých panelů				50,00 Kč	0	- Kč	
<b>Cena základní sestavy bez DPH</b>						<b>274 642,- Kč</b>	
<b>DPH</b>	<b>15 %</b>					<b>41 196,- Kč</b>	
<b>Cena celkem</b>						<b>315 839,- Kč</b>	
<b>Cena celkem po odečtu dotace</b>						<b>165 839,- Kč</b>	

Nabídka instalace FVE pro rodinný dům [14]

## 11.2 Nabídky instalace fotovoltaické elektrárny od společnosti ČEZ, a.s.

### Nabídka instalace FVE pro rodinný dům:

#### CENA

### FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA S AKUMULACÍ ENERGIE DO BATERIE

Výkon FVE	4,48 kWp
Počet panelů	14 ks
Typ panelů	IBC Monosol 320 VL5 – HC
Akumulace / řízení spotřeby / střídač	ČEZ Battery Box 3F HOME 7,2 kWh / není / střídač v boxu
CENA FVE s DPH 15%	404 000 Kč s DPH
CENA MĚSÍČNÍ SPLÁTKY	2 629 Kč - v případě ČEZ Úvěru na technologie s dobou splácení 10 let a s vlastními zdroji 155 000 Kč, výše roční úrokové sazby 4,9 %, viz příklad splácení na straně ČEZ ÚVĚR NA TECHNOLOGIE.

#### FVE panely

### IBC MONOSOL 320 VL5-HC



Typ modulu	mono-krytalické
Výrobce	IBC Solar (Německo)
Výkon modulu	320 Wp
Plocha modulu	1,66 m <sup>2</sup>
Rozměry	1675x992x40 mm
Záruka na panel	15 let
Záruka na výkon	25 let
Životnost	30 let



## ČEZ BATTERY BOX 3F HOME



Kompletní třífázový systém s volitelnou kapacitou baterií

Typ systému	3-fázový
Rozměry ČBB /šxhxxv/	600x480x1650 mm vč. koleček
Počet dobíjecích cyklů	min. 6000 cyklů (+funkce postupného vybití baterií po jednotlivých modulech)
AC výkon	5 kVA ( 1,66 kVA pro fázi)
Výkon FVE	max. 6 kWp
Kapacity	4,8 kWh / 7,2 kWh / 9,6 kWh
Účinnost	95 %



[15]

## 11.3 Nabídka instalace fotovoltaické elektrárny od společnosti E.ON

### Nabídka instalace FVE pro rodinný dům:

#### Premium design

**Designové černé panely s fyzickou baterií,** díky kterým maximálně využijete svou elektrárnu a už Vás nezaskočí výpadek elektřiny.

#### Typ panelů

Monokrystalické - 305 Wp - BLACK

#### Počet panelů

12 ks (20,4 m<sup>2</sup>)

#### Celkový výkon

3,66 kWp

#### Typ střídače

Solax X1-Hybrid-3.7 D-E

#### Fyzická baterie

Triple Power 4,5 kWh



#### Virtuální baterie

Cena bez DPH: 266 000 Kč  
Cena s 15% DPH: 305 900 Kč  
Výše dotace NZÚ: 105 000 Kč

Celková cena řešení:

**200 900 Kč**

včetně DPH a po odečtení dotace

<b>Životnost elektrárny</b>	30 let	
Investice do solární elektrárny	143 900 Kč	
Provozní náklady během 30 let (1x výměna střídače, regulačních prvků a servis)	36 000 Kč	
<b>Celkové náklady během 30 let</b>	<b>179 900 Kč</b>	
Roční výroba elektrárny o výkonu 3,66 kWp	4 020 kWh/rok	
<b>Roční okamžitá spotřeba vyrobené elektřiny</b>	<b>2 814 kWh/rok</b>	= 4 020 kWh × 70 %
<b>Cena vyrobené elektřiny</b>	<b>2,1 Kč/kWh</b>	= 179 900 Kč / 30 / 2 814 kWh

Cena elektřiny ze sítě  
(průměr za rok 2018)

**4,0 Kč/kWh**

Cena Vaší vyrobené elektřiny  
bez Virtuální baterie za 30 let

**2,1 Kč/kWh**

Z výpočtu vidíte, že **si vlastní elektřinu vyrobíte skoro za poloviční cenu oproti tomu, co byste platili při odběru ze sítě.** Ještě víc můžete ušetřit, když si ke své solární elektrárně pořídíte **Virtuální baterii.** Do ní si totiž můžete ukládat přebytky vyrobené elektřiny a využít je později.

Elektřina uložená do Virtuální baterie	1 206 kWh/rok	= 4 020 kWh – 2 814 kWh
<b>Celková roční hodnota vyrobené elektřiny</b>	<b>3 236 kWh/rok</b>	= 2 814 kWh + 1 206 kWh × 35 %
<b>Výsledná cena vyrobené elektřiny</b>	<b>1,9 Kč/kWh</b>	= 179 900 Kč / 30 / 3 236 kWh

Cena elektřiny ze sítě  
(průměr za rok 2018)

**4,0 Kč/kWh**

Cena Vaší vyrobené elektřiny  
s Virtuální baterií za 30 let

**1,9 Kč/kWh** 

[10]

## 11.4 Fotografie ze zpracování FV panelů



Obrázek 12 Stoj na odstranění skla z FV panelů



Obrázek 13 Polovina FV panelů po odstranění skleněné vrstvy



Obrázek 14 Řetězový drtič



Obrázek 16 Výsledný produkt po mechanické metodě zpracování FV panelů



Obrázek 15 Amorfní FV panel připraven na drcení



Obrázek 17 Amorfní FV panel po rozdrčení

## 11.5 Tabulka intenzity osvětlení a předpokládané produkce pro rodinný dům

Měsíc	PRE, a.s.			ČEZ, a.s.			E.ON			Vlastní návrh		
	Em [kWh]	H(i) m [kWh.m-2]	SDm [kWh]	Em [kWh]	H(i) m [kWh.m-2]	SDm [kWh]	Em [kWh]	H(i) m [kWh.m-2]	SDm [kWh]	Em [kWh]	H(i) m [kWh.m-2]	SDm [kWh]
Prosinec	133,4	34,2	27,3	142,3	34,2	29,1	116,2	34,2	23,8	119,1	34,2	24,4
Listopad	152,8	40,0	36,3	163,0	40,0	38,7	133,2	40,0	31,6	136,4	40,0	32,4
Říjen	294,4	77,9	66,1	314,0	77,9	70,5	256,5	77,9	57,6	262,8	77,9	59,0
Září	448,7	121,3	51,2	478,6	121,3	54,6	391,0	121,3	44,6	400,6	121,3	45,7
Srpen	549,6	153,2	57,9	586,2	153,2	61,7	478,9	153,2	50,4	490,5	153,2	51,6
Červenec	604,3	170,1	66,8	644,6	170,1	71,3	526,6	170,1	58,2	539,6	170,1	59,7
Červen	588,5	162,8	41,1	627,7	162,8	43,9	512,8	162,8	35,8	525,4	162,8	36,7
Květen	589,6	159,6	94,3	629,0	159,6	100,6	513,8	159,6	82,2	526,5	159,6	84,2
Duben	538,7	143,8	80,1	574,6	143,8	85,4	469,4	143,8	69,8	481,0	143,8	71,5
Březen	368,8	95,7	75,7	393,4	95,7	80,9	321,4	95,7	66,0	329,3	95,7	67,6
Únor	208,8	52,5	48,3	222,7	52,5	51,5	182,0	52,5	42,1	186,4	52,5	43,1
Leden	134,8	34,4	35,3	143,8	34,4	37,6	117,5	34,4	30,7	120,4	34,4	31,5

Tabulka 6 Intenzita osvětlení a předpokládaná produkce pro rodinný dům



Em: Průměrná měsíční výroba v kWh

H(i) m: Průměrná měsíční intenzita na m<sup>2</sup> slunečního záření v kWh.m<sup>-2</sup>

SDm: Standardní ztráty výroby měsíční díky ročnímu opotřebení v kWh [13]