

Bakalářská práce



České  
vysoké  
učení technické  
v Praze

**F3**

Fakulta elektrotechnická  
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

# Výstavba malé fotovoltaické elektrárny

**Michael Němý**

Elektrotechnika, energetika a management

květen 2016

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Králík



České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Němý Michael**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Obor: Elektrotechnika a management

*Název tématu:*

### **Výstavba malé fotovoltaické elektrárny**

*Pokyny pro vypracování:*

1. Popis dostupných technologií pro výrobu elektřiny ze slunečního záření
2. Návrh systému malé FVE
3. Ekonomické vyhodnocení a optimalizace návrhu

*Seznam odborné literatury:*

1. Messenger R.A., Ventre J.: Photovoltaic systems engineering. 3rd ed. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor&Francis, 2010.
2. Murtinger K., Beranovský J., Tomeš M.: Fotovoltaika, elektřina ze slunce. ERA, Brno, 2007.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Králík

Platnost zadání: do konce letního semestru 2016/2017

L.S.

*Prof.Ing. Jaroslav Knápek, CSc.*

vedoucí katedry

*Prof.Ing. Pavel Ripka, CSc.*

děkan

V Praze dne 10.2.2016



## Poděkování / Prohlášení

Rád bych poděkoval Ing. Tomášovi Králíkovi za cenné rady, připomínky a pomoc při vedení bakalářské práce.

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 12. 5. 2016

.....

## Abstrakt / Abstract

Cílem této bakalářské práce je posoudit, zda se v dnešní době v České republice vyplatí stavba malé fotovoltaické elektrárny. K tomuto účelu byl proveden návrh a ekonomické zhodnocení malé fotovoltaické elektrárny k DC ohřevu teplé vody.

Práce dále obsahuje popis technologií jednotlivých prvků fotovoltaického systému s přihlédnutím k aktuálnímu stavu vývoje. Značná pozornost je také věnována jednotlivým parametrům, které ovlivňují efektivnost investice.

**Klíčová slova:** fotovoltaická elektrárna; fotovoltaický ohřev vody; ekonomická efektivnost; NPV

Aim of this bachelor's thesis is to determine, whether it is worthy to build a small photovoltaic power station in the Czech republic nowadays. A project and economical assessment of a DC water heating small photovoltaic power station was made for this reason.

The work further contains a description of every part of photovoltaic system. The up-to-date state of development is emphasized. Significant part is also dedicated to individual parameters, which influence economic efficiency.

**Keywords:** Photovoltaic power station; Photovoltaic water heating; Economic efficiency; NPV

**Title translation:** Construction of a small photovoltaic power station

# Obsah /

<b>1 Úvod</b> .....	1
<b>2 Energie ze Slunce</b> .....	3
2.1 Sluneční záření .....	3
2.2 Faktory ovlivňující dopada- jící záření .....	3
2.3 Podmínky v ČR .....	4
<b>3 Princip využití energie ze Slunce</b> ..	6
3.1 Fotoelektrický jev .....	6
3.2 Charakteristika článku .....	6
3.3 Výkon článku .....	7
3.4 Maximalizace výkonu .....	8
<b>4 Typy solárních článků</b> .....	10
4.1 Články z monokrystalického křemíku .....	10
4.2 Polykrystalické články .....	10
4.3 Amorfni křemík .....	11
4.4 Další varianty .....	11
<b>5 Fotovoltaický systém</b> .....	12
5.1 Fotovoltaický panel .....	12
5.2 Měnič (střídač) .....	12
5.3 Akumulace energie .....	13
5.3.1 Elektrické akumulátory ..	13
5.3.2 Akumulace v teple .....	14
5.4 Regulátor napájení .....	14
5.5 Maximum Power Point Trac- ker (MPPT) .....	15
5.6 Watt router .....	15
<b>6 Možné instalace</b> .....	16
6.1 On-grid instalace .....	16
6.2 Off-grid instalace .....	16
6.3 Hybridní instalace .....	17
<b>7 Kritéria ekonomické efektiv-   nosti investice</b> .....	19
7.1 Základní pojmy .....	19
7.2 Současná čistá hodnota (NPV) .....	19
7.3 Vnitřní výnosové procento (IRR) .....	20
7.4 Prostá doba návratnosti (PP) ..	20
<b>8 Podpora obnovitelných zdrojů   v ČR</b> .....	21
8.1 Garantovaná výkupní cena ....	21
8.2 Zelený bonus .....	21
8.3 Investiční podpora .....	21
8.3.1 Off-grid systémy .....	22
8.3.2 On-grid systémy .....	22
8.3.3 Výše podpory .....	22
<b>9 Návrh fotovoltaické elektrárny</b> ..	23
9.1 Popis objektu .....	23
9.2 Fotovoltaický systém .....	24
9.2.1 Systém ohřevu vody .....	24
9.2.2 Výběr fotovoltaických panelů .....	25
9.2.3 Návrh velikosti bojleru ..	26
9.3 Vyrobená elektřina .....	27
9.3.1 Roční rozložení vyro- bené elektřiny .....	29
9.3.2 Degradace panelů .....	29
9.4 Investiční výdaje .....	29
<b>10 Ekonomické hodnocení</b> .....	32
10.1 Ekonomický model .....	32
10.1.1 Příjmy .....	32
10.1.2 Výdaje .....	33
10.1.3 Výsledky .....	34
10.2 Citlivostní analýzy .....	35
10.2.1 Citlivostní analýza ce- ny elektřiny .....	35
10.2.2 Citlivostní analýza es- kalace ceny elektřiny .....	36
10.2.3 Citlivostní analýza ce- ny uhlí .....	37
10.2.4 Citlivostní analýza no- minální diskontní míry ..	37
10.2.5 Citlivostní analýza do- by životnosti .....	38
<b>11 Závěr</b> .....	39
<b>Literatura</b> .....	40
<b>A Seznam použitých zkratk</b> .....	45
<b>B Technická dokumentace ob-   jektu</b> .....	47
<b>C Cash flow</b> .....	51

## Tabulky / Obrázky

<b>8.1.</b> Výše podpory fotovoltaiky .....	22
<b>9.1.</b> Vyrobená elektřina .....	30
<b>9.2.</b> Investiční výdaje .....	31
<b>2.1.</b> Spektrum slunečního záření .....	4
<b>2.2.</b> Průměrný roční úhrn záření na horizontální plochu .....	4
<b>3.1.</b> Voltampérová charakteristi- ka a závislost výkonu na na- pětí FV článku .....	7
<b>3.2.</b> Závislost výkonu FV článku na teplotě .....	7
<b>3.3.</b> Závislost výkonu FV člán- ku na intenzitě dopadajícího záření .....	8
<b>5.1.</b> Schéma solárního panelu .....	12
<b>5.2.</b> Výstupní tvar napětí střídače ..	13
<b>5.3.</b> Měnič .....	14
<b>6.1.</b> Schéma zapojení on-grid in- stalace .....	16
<b>6.2.</b> Schéma zapojení off-grid in- stalace .....	17
<b>6.3.</b> Schéma zapojení hybridní in- stalace .....	17
<b>9.1.</b> Umístění objektu v obci .....	23
<b>9.2.</b> Schéma zapojení systému DZ Dražice .....	25
<b>9.3.</b> Kumulativní průběh spotře- by a výroby tepla .....	27
<b>9.4.</b> Kumulativní průběh spotře- by a celkové výroby tepla .....	28
<b>9.5.</b> Stacionární ohřívač vody .....	28
<b>9.6.</b> Rozložení vyrobené elektřiny během roku .....	29
<b>9.7.</b> Rozložení vyrobené elektřiny po dobu životnosti .....	30
<b>10.1.</b> Schéma uvažovaného zapojení .	33
<b>10.2.</b> Cash flow investice .....	35
<b>10.3.</b> Citlivostní analýza ceny elektřiny .....	36
<b>10.4.</b> Citlivostní analýza eskalace cen elektřiny .....	36
<b>10.5.</b> Citlivostní analýza ceny uhlí ..	37
<b>10.6.</b> Citlivostní analýza nominální diskontní míry .....	37
<b>10.7.</b> Citlivostní analýza doby ži- votnosti .....	38



# Kapitola 1

## Úvod

Obnovitelné zdroje elektrické energie jsou v dnešní době již neodmyslitelnou součástí energetického mixu každé vyspělé země. Řadíme mezi ně fotovoltaiku, spalování biomasy, vodní a větrné elektrárny a mnohé další. Pro Evropskou unii jsou tyto zdroje velmi důležité, mimo jiné pro udržení energetické nezávislosti tohoto společenství. Z tohoto důvodu byla v roce 2009 vydána směrnice EU o podpoře obnovitelných zdrojů, stanovující cíl zvýšit podíl obnovitelných zdrojů na spotřebě na 20 % do roku 2020. Pro Českou republiku z toho plyne důležitý závazek ve výši 13 %.

Abychom se přiblížili těmto cílům, začala česká vláda v roce 2009 více podporovat obnovitelné zdroje. V této době ale také velmi poklesla cena fotovoltaických panelů na trhu. Shodou těchto a některých dalších faktorů zažila Česká republika mezi roky 2009 a 2010 proces, který byl v médiích často označován jako „solární boom“ - masivní výstavbu fotovoltaických elektráren. Zájem o podporu předčil očekávání vlády natolik, že vyvstaly problémy s jejím hrazením. Část financování tak bylo přesunuto na odběratele elektřiny skrze zvýšení příspěvku na obnovitelné zdroje elektřiny. Toto rozhodnutí pobouřilo mnoho lidí a udělalo špatné jméno fotovoltaice. Podpora pro nově budované velké elektrárny (nad 30 kW) skončila v roce 2012 a s ní i masivní výstavba.

Výstavba v menším měřítku, na střechách domů, či průmyslových objektů, však pokračovala a pokračuje dál. Otázkou je, zda se investice do tohoto systému stále ekonomicky vyplatí. Laická, ba i odborná veřejnost není v odpovědi na tuto otázku jednotná. Mohlo by se zdát, že odvětví specializující se na výrobu a instalaci fotovoltaiky se snaží přesvědčit společnost o stále trvajících výhodnostech takovéto investice, zatímco někteří odborníci se staví striktně proti. Tento střet se promítá i do odborných diskuzí a článků, které tím ztrácejí na objektivitě. Pro nezaujatého pozorovatele je těžké rozhodnout se, ke které straně se přiklonit.

Od roku 2016 je možné nově získat investiční podporu z programu Nová zelená úsporám na výstavbu malé fotovoltaické elektrárny na střechu rodinného domu.

Ve své práci bych rád popsal stav, ve kterém se fotovoltaické odvětví nachází na konci roku 2015 a na začátku roku 2016. Dále bych rád zodpověděl podstatnou otázku, zda se v dnešní době z ekonomického pohledu vyplatí postavit si malou fotovoltaickou elektrárnu. To bych rád demonstroval na příkladu off-grid instalace fotovoltaiky na střechě rodinného domu, která bude sloužit k ohřevu teplé užitkové vody stejnosměrným proudem.

Má bakalářská práce je členěná do kapitol, ve kterých se snažím přiblížit danou problematiku od obecnějších principů, až po ty konkrétní. Pro větší přehlednost si zde dovoluji kapitoly stručně shrnout:

Kapitola 2 se zabývá tím, jak ve Slunci vzniká energie, a jak ta je transportována na Zem. V kapitole 3 vysvětluji, jakým způsobem je možné tuto energii přeměnit v elektřinu. K tomu lze využít několika rozdílných struktur, ty jsou popsány v kapitole 4. Dále v kapitole 5 a 6 jsou popsány jednotlivé v praxi používané fotovoltaické systémy a jejich prvky. Ve své práci bych rád hodnotil ekonomickou efektivnost konkrétního návrhu. K tomu je nutné využít kritéria uvedená v kapitole 7. Kapitola 8 poté

pojednává o různých typech podpory, které je, či bylo v České republice možné na výstavbu získat. Tím končí rešeršní část bakalářské práce.

V kapitole 9 popisují objekt, na který na základě znalostí z předchozích kapitol vytvářím návrh fotovoltaické elektrárny. Ten následně v kapitole 10 zhodnotím dle vybraných ekonomických kritérií a provedu citlivostní analýzy zajímavých vstupních parametrů. Kapitola 11 je věnována shrnutí bakalářské práce.

Dokument je doplněn o tři přílohy: Seznam použitých zkratk, Technickou dokumentaci objektu a Cash flow návrhu.

# Kapitola 2

## Energie ze Slunce

Největším energetickým zdrojem v naší sluneční soustavě je naše nejbližší hvězda - Slunce. V ní probíhá termionukleární fúze, při níž jsou atomy vodíku přeměňovány v atomy helia. Tato reakce je doprovázena vznikem velkého množství energie, které je vyzařeno ve formě elektromagnetického vlnění. Výkon této reakce  $3,85 \cdot 10^{26} \text{ W}$  je vyzařován do všech směrů. Země kolem Slunce obíhá po eliptické trajektorii se střední vzdáleností 149,6 tisíc km. Na plochu orientovanou kolmo na přicházející záření, na vnějším okraji atmosféry tak dopadá zářivý tok o intenzitě  $1367 \text{ W/m}^2$ . [1] Ten bývá označován jako sluneční konstanta.

Je za vhodné si uvědomit, že tento enormní energetický tok dal vzniknout většině zdrojů energie, které jsou dnes na zemi používány. Nerovnoměrným ohřevem atmosféry vznikají oblasti o rozdílných hustotách, tlacích vzduchu. Tím, jak se tento termodynamický systém snaží dostat do rovnováhy, vzniká vítr, který je využíván ve větrných elektrárnách. Koloběh vody nutný pro běh vodních elektráren, růst plodin pro vznik biomasy, vznik ropy, uhlí, radioaktivních prvků, to vše je, či bylo podmíněno působením Slunce. V této práci se budeme dále zabývat pouze slunečním zářením a jeho přímou přeměnou.

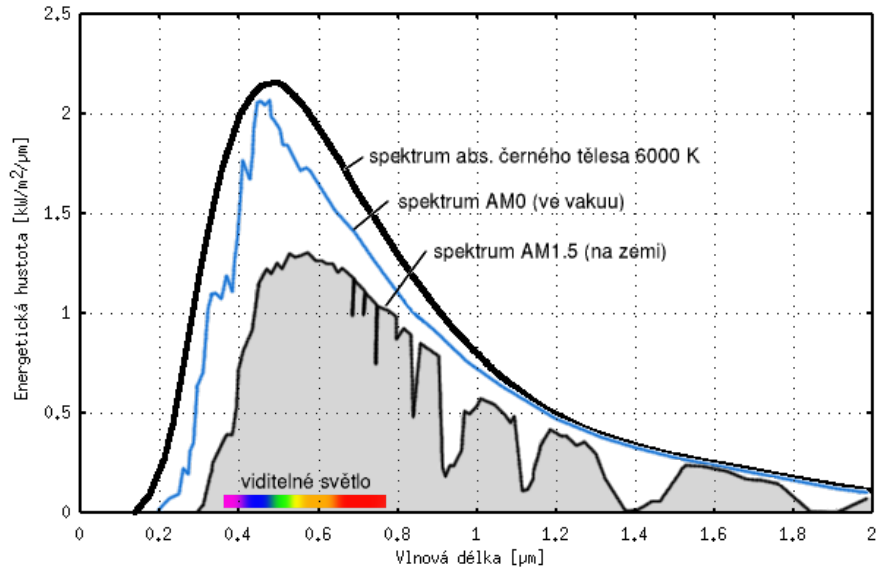
### 2.1 Sluneční záření

Slunce můžeme považovat za absolutně černé těleso o teplotě  $5800 \text{ K}$ . Spektrum v něm vznikajícího záření lze tedy popsat Planckovým zákonem. [2] Obsahuje záření o vlnových délkách  $0,2 - 3,0 \mu\text{m}$  a jeho spektrum je zobrazeno na obrázku 2.1. Při průchodu atmosférou dochází k odrazu, lomu a absorpci části záření. Většina UV záření je pohlcena atmosférickým ozonem. Dochází k absorpci i delších vlnových délek a to převážně na molekulách vodní páry a oxidu uhličitého. Na zemský povrch tak dopadne záření o změněném spektru a menší intenzitě.

### 2.2 Faktory ovlivňující dopadající záření

Je tedy zřejmé, že na množství dopadnuvšího záření má vliv tloušťka atmosféry, skrz kterou musí záření projít. Pokud je slunce v poledne v nadhlavníku, přímo nad pozorovatelem, je hmota atmosféry nejmenší a dopadající energie největší. Naproti tomu přichází-li záření večer vodorovně se zemským povrchem, musí překonat delší dráhu v atmosféře, a tak jeho výsledná energie bude menší. Pro popis hmoty atmosféry se zavádí veličina AM (Air Mass), která je definována jako AM 1 pro kolmý úhel dopadu, AM 1,5 pro  $37^\circ$ . [2]

Dalším důležitým vlivem jsou meteorologické podmínky. Je-li zataženo, většina záření se rozptýlí na vodní páře v atmosféře a na zemský povrch pak dopadá pouze jako tzv. difuzní záření. K němu se řadí také záření odražené, např. od vodních ploch, či kovových střeš. Přímé sluneční záření je poté takové, které přichází přímo ze Slunce, bez rozptylu.

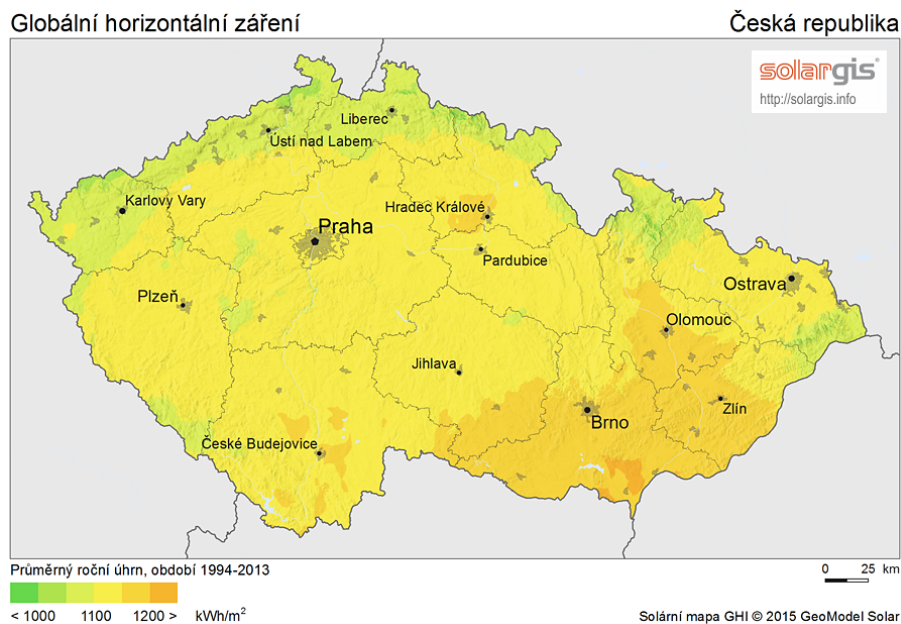


Obrázek 2.1. Spektrum slunečního záření [3]

Jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly, Země obíhá kolem Slunce po eliptické dráze. V období, kdy na severní polokouli probíhá zima, je Země nejbližší Slunci, a tak je dopadající energie na Zemi maximální. Na naše území však v tuto dobu sluneční záření dopadá pod nepříznivým úhlem, způsobeným odklonem zemské osy od roviny oběhu o  $23,5^\circ$ . Jeho dráha v atmosféře je proto velmi dlouhá, a výsledná energie podstatně menší než v létě.

## 2.3 Podmínky v ČR

V České republice se průměrná roční dávka dopadajícího záření na vodorovnou plochu pohybuje mezi  $1000 - 1200 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ , jak je patrné z obrázku 2.2.



Obrázek 2.2. Průměrný roční úhrn záření na horizontální plochu [4]

- V této kapitole byly identifikovány a popsány faktory, které ovlivňují množství dopadajícího záření na zemský povrch. Průměrná roční dávka dopadajícího záření v ČR se pohybuje mezi  $1000 - 1200 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ . Tato informace bude užitečná při prvotních úvahách o množství vyrobené elektřiny v navrhované FVE.

# Kapitola 3

## Princip využití energie ze Slunce

V praxi existují dvě základní metody jak přímo využít sluneční energii dopadající na zemský povrch. Jsou jimi solární ohřev a fotovoltaická výroba elektřiny. Při první metodě záření dopadající na solární kolektor ohřívá pracovní medium. Takto získaná tepelná energie může být použita k ohřevu vody nebo výrobě elektřiny. Tento princip však není předmětem této práce. V následujících kapitolách bude popsán a využit princip fotovoltaické výroby elektřiny, který se zakládá na principu fotoelektrického jevu.

### 3.1 Fotoelektrický jev

Sluneční záření je v kvantové fyzice popisováno jako proud částic - fotonů. Dopadne-li foton na povrch polovodiče, předá svou energii jednomu elektronu. Pokud je tato energie dostatečná, aby mohl elektron překonat tzv. zakázaný pás, tedy přejít z valenčního pásu do pásu vodivostního, je elektron uvolněn z vazby. Na jeho místě vzniká místo s lokálním kladným nábojem - díra. Takto vzniklé volné nosiče náboje se mohou pohybovat látkou, nebo spolu rekombinovat.

Nejběžnějším polovodičem používaným pro účely fotovoltaických článků je čtyřvázný křemík. Dopováním křemíků prvkem pětivázným, např. fosforem, zůstane vždy jeden valenční elektron tohoto prvku neobsazen, tím v látce začne tento druh nosiče převažovat. Nazveme jej polovodič typu N. Obdobně přidáním prvků třetí skupiny, nejčastěji boru, vznikne polovodič typu P s přebytkem děr.

Vytvořením struktury z polovodičů typu P a N vznikne na jejich rozhraní PN přechod. Ten je elektricky neutrální, a tak od sebe odděluje náboje. Při osvětlení této struktury se vzniklé kladné náboje hromadí v polovodiči typu P a záporné v polovodiči typu N. Mezi póly polovodiče tak vzniká rozdíl potenciálů. Spojíme-li je vodičem, začne mezi nimi protékat proud. Tato struktura je nazývána fotovoltaický článek.

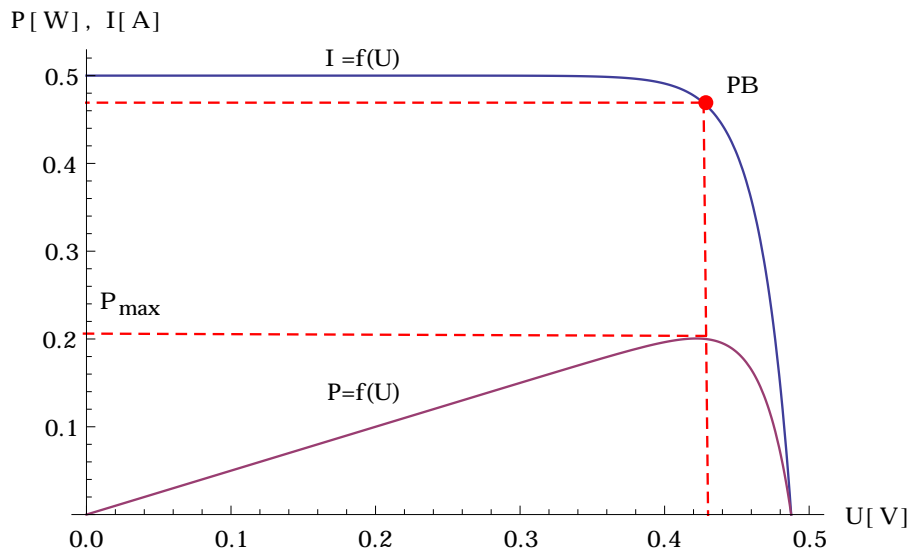
### 3.2 Charakteristika článku

Voltampérovou charakteristiku ideálního FV článku, tedy PN přechodu, můžeme popsat Shockleyho rovnicí, dle [5] takto:

$$I = I_l - I_0(e^{\frac{qU}{kT}} - 1) \quad (3.1)$$

Kde  $q$  je velikost náboje elektronu  $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ,  $k$  je Boltzmanova konstanta  $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ ,  $U$  je napětí na přechodu PN ve V,  $T$  je teplota v K,  $I_0$  je saturační proud v A a  $I_l$  proud generovaný fotony v A.

Charakteristiku je možné také zobrazit graficky, jak je tomu na obrázku 3.1; na něm je doplněná o závislost výkonu na napětí. Výkon lze spočítat podle definičního vztahu  $P = U \cdot I$ . Tato závislost nabývá svého maxima pro jedno konkrétní napětí. Je tedy optimální provozovat FV článek tak, aby se jeho pracovní bod (PB) nacházel při tomto napětí. Toho je možné dosáhnout například metodou MPPT uvedenou v kapitole 5.5. Výkon však ovlivňují i jiné parametry; těmi se budu zabývat v následující kapitole.

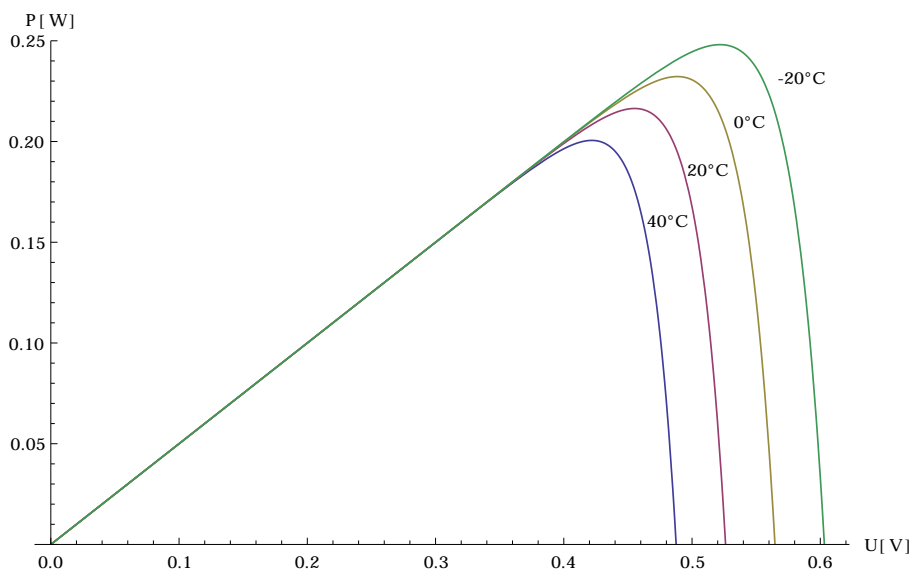


Obrázek 3.1. Voltampérová charakteristika a závislost výkonu na napětí FV článku

### 3.3 Výkon článku

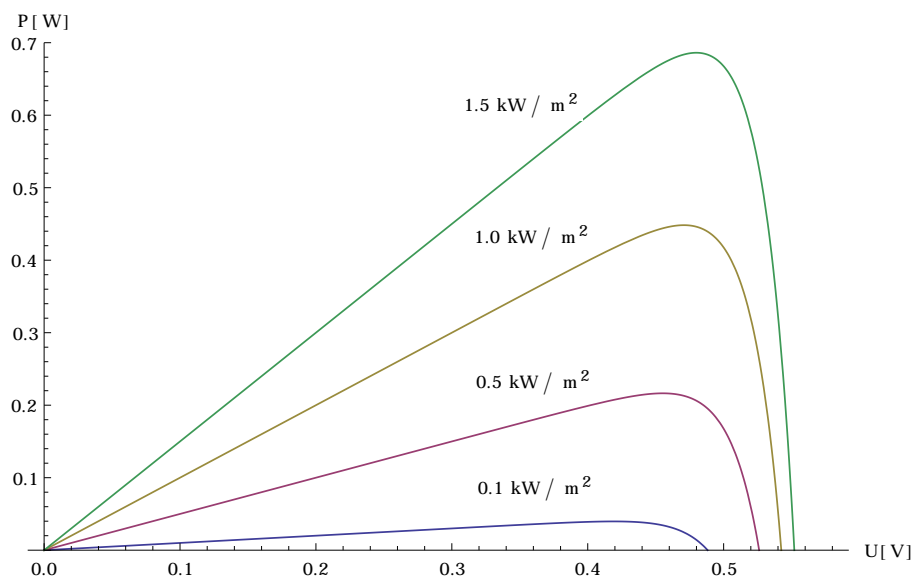
Z výše uvedeného vzorce voltampérové charakteristiky je zřejmé, že výkon FV článků závisí na mnoha vnějších faktorech. Jedním z nich je teplota.

Se vzrůstající teplotou klesá výkon, a tedy i účinnost článku. Pro křemíkové články jde o  $0,5 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ . Závislost je zobrazena na obrázku 3.2. Stojí za povšimnutí, že se nemění pouze velikost maximálního výkonu, ale i napětí, při kterém je maxima dosaženo.



Obrázek 3.2. Závislost výkonu FV článku na teplotě

Dalším zřejmým faktorem je intenzita dopadajícího záření, která je ve VA charakteristice reprezentována veličinou  $I_l$ . Ta je patrná z obrázku 3.3. V porovnání s předchozí závislostí nastává maximum výkonu pro stejné napětí.



Obrázek 3.3. Závislost výkonu FV článku na intenzitě dopadajícího záření

### 3.4 Maximalizace výkonu

Ke zvýšení vyráběného výkonu můžeme přistupovat dvěma přístupy: maximalizujeme dopadající záření, nebo zvýšíme účinnost článku.

Orientace panelu je důležitý parametr určující množství přeměněné energie ze Slunce. K získání co největšího množství přímého slunečního záření je zapotřebí, aby sluneční paprsky dopadaly kolmo na panel. Toho je možno docílit natáčením panelu.

Otáčení je nejčastěji realizováno kolem vertikální osy tak, aby paprsky dopadaly po celý den kolmo na plochu panelu. K tomu je využit elektromotor s hodinovým strojem. Vertikální sklon je většinou nastavován ručně, několikrát do roka. Tím se zvýší množství získané energie za den. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena a také to, že část energie se spotřebuje na provoz motoru.

Ve většině případů je ekonomicky výhodnější zvolit konstantní sklon panelu. Pro severní polokouli je ideální orientace na jih, v našich podmínkách se sklonem  $35^\circ$ . [6]

Druhou možností maximalizace výkonu je zvýšení účinnosti článku. Jak již bylo popsáno dříve, FV článek totiž zachytává záření jen s energií větší než je šířka zakázaného pásu použitého polovodiče. Má-li foton energii o hodně vyšší, než je potřeba k uvolnění elektronu, je tato nadbytečná energie přeměněna v teplo, čímž se snižuje účinnost. Možným řešením tohoto problému je výroba vícepřechodového článku. Vyšší vrstvy zachytávají fotony o vysoké energii, ty o nižší energii se dostávají na další přechod, kde jsou využity. Tím lze využít skoro celé sluneční spektrum a současně se vyhnout tepelným ztrátám. V laboratorních podmínkách se podařilo vyrobit pětipřechodový článek s účinností  $38,8 \pm 1,2\%$  [7]; nevýhodou však zůstává vysoká cena.

Zajímavým nápadem, jak využít celé sluneční spektrum, je princip tzv. termofotovoltaického systému. [8] Před panel je umístěn absorbér, který je schopen pohltit v ideálním případě celé sluneční spektrum. Takto získanou energii předává ve formě tepla zářiči, který ji vyzáří jako světlo o vlnových délkách vhodných pro FV článek pod ním. Účinnost takového systému je však stále nižší než účinnost jednovrstvého křemíkového článku.

- V kapitole 3 byly identifikovány a popsány faktory, které ovlivňují výkon FV článku. Mezi ně se řadí například teplota článku, či spektrum a intenzita dopadajícího záření.



Maximalizovat dopadající záření je možno například správnou orientací panelů. Mnou navrhovaná fotovoltaická elektrárna se bude nacházet v ČR, a tedy ideální orientace pro ni bude přímo na jih, se sklonem  $35^\circ$ . Tímto zjištěním se budu řídit při návrhu.

# Kapitola 4

## Typy solárních článků

V dnešní době je na trhu k dispozici několik druhů solárních článků, které se od sebe liší použitým materiálem a způsobem výroby. Velká obliba tohoto zdroje elektrické energie v posledních letech má za následek tlak na zvýšení účinnosti, snížení ceny a lepší mechanické vlastnosti. To představuje velkou výzvu pro vědeckou společnost. Základní typy článků jsou uvedeny v následující kapitole.

### 4.1 Články z monokrystalického křemíku

Tento druh článku byl prvním používaným pro účely získávání elektrické energie ze Slunce. Celý článek je tvořen jedním krystalem Si, což má za následek jeho dobré vlastnosti. Vyznačuje se velkou účinností 14 – 17 % [9] u běžně používaných článků, v laboratorních podmínkách až  $25,6 \pm 0,5 \%$ <sup>1)</sup> [7]. Dalším příznivým faktorem je životnost; ta dosahuje 20 let. Jeho hlavní nevýhodou je náročnost výroby monokrystalu křemíku.

Ten se dá získat dvěma způsoby: metodou letmé zóny a Czochralského metodou. Při první metodě je ingot polykrystalického křemíku umístěn do přípravku, kde je postupně od jednoho konce k druhému zahříván na vysokou teplotu. Při zahřátí dochází k roztavení ingotu. Tím, jak se přesouvá místo ohřevu, se posouvají i příměsi v krystalu. Takto se dají nechtěné příměsi zcela separovat, tedy krystal opakovaně čistit. Při Czochralského metodě je do taveniny polykrystalického křemíku ponořen zárodek monokrystalu s požadovanou orientací. Na něj narůstá žádaný krystal. Postupné tažení krystalu je velmi pomalý proces. Vzniklý váleček je poté potřeba nařezat na tenké vrstvy. Pro použití ve fotovoltaických panelech je vzniklý kruhový tvar nevhodný. K co nejlepšímu pokrytí plochy panelu jsou ideální články čtvercové. Je tedy nutné vzniklé destičky ořezat.

Z popisu je zřejmé, že výroba je velmi energeticky náročná, dlouho trvající a s velkým množstvím odpadu. To vše se může projevit na ceně výsledného produktu. Nicméně, díky popularitě fotovoltaiky a navýšení výrobních kapacit, převážně v Asii, došlo v posledních letech k dramatickému poklesu ceny. Dnes je možné pořídit monokrystalický panel v průměru za 0,8 \$/kW [10].

### 4.2 Polykrystalické články

Vysoká cena monokrystalického křemíku v minulosti vedla k vývoji levnějších variant článků. Jednou z nich jsou ty vyrobené z polykrystalického křemíku. Jak napovídá název, takovýto článek se sestává z několika krystalů Si. Výroba je jednodušší a tedy i levnější. Při ní se nechá vykristalizovat křemík, který se rozřeže na cihličky a ty poté dále na obdélníkové destičky. Vzniklé obdélníkové články perfektně vyplní plochu panelu. Nevýhodou však je, že přechody mezi jednotlivými krystaly zhoršují kvalitu

<sup>1)</sup> účinnosti ze zdroje [7] platí za podmínek: AM 1,5; intenzita  $1000 \text{ W/m}^2$  a teplota  $25 \text{ }^\circ\text{C}$

článků, dochází zde např. k rekombinaci. Účinnost se pohybuje mezi 13 a 16 % [9], nejlepší výsledek dosažený v laboratorních podmínkách je  $20,8 \pm 0,5$  % [7]. Průměrná cena panelu se v roce 2015 pohybovala okolo 0,7 \$/kW [10].

Z uvedených účinností a cen monokrystalických a polykrystalických článků je zřejmé, že jsou v dnešní době oba tyto typy ekvivalentní. Podle zdroje [11] hraje dnes při rozhodování mezi těmito dvěma typy panelů hlavní roli spíše barva, tvar článku, reputace výrobce, nebo konkrétní nabídka.

## 4.3 Amorfní křemík

Dalším typem je článek z křemíku bez krystalické struktury. Ten se připravuje reakcí silanu ve vodíkové atmosféře. Díky dobré pohltivosti záření je možné vyrábět tenké vrstvy, sníží se tak spotřeba drahého křemíku. To je však vykoupeno nižší účinností, která se v praxi pohybuje kolem 5 – 7 % [9]. V laboratorních podmínkách byl vyvinut článek o účinnosti  $10,2 \pm 0,3$  % [7].

## 4.4 Další varianty

Existují i další typy fotovoltaických článků, které se snaží dosáhnout lepších vlastností než varianty výše zmíněné.

Například jde o tenkovrstvé články z galium arsenidu. Jejich výhodou je vysoká účinnost i 34 % [5] a nízká teplotní závislost. Nevýhodou je však vysoká pořizovací cena, způsobená vzácností galia. Proto jsou tyto články v praxi používány hlavně pro satelity a kosmické sondy, kde vyšší cena není omezujícím faktorem.

V dnešní době probíhá intenzivní výzkum v oblasti vývoje organických fotovoltaických článků. Ty se vyznačují velmi nízkou cenou a možností tisku na různorodé plochy; bohužel také zatím i nízkou účinností v jednotkách procent a krátkou životností. [12] Jde však o možnou technologii budoucnosti.

- V této kapitole jsem analyzoval jednotlivé druhy fotovoltaických článků a rozdíly mezi nimi. Konkrétně, běžně používané monokrystalické, polykrystalické a amorfni články. Popsal jsem však i zatím tolik nepoužívané varianty jako galium arsenidové, či organické články. Dle mnou zjištěných informací již v dnešní době neexistuje výrazný rozdíl v ceně a výkonu mono a polykrystalických článků. Při návrhu tak zvolím jednu z těchto variant dle konkrétní nabídky prodejce.

## Kapitola 5

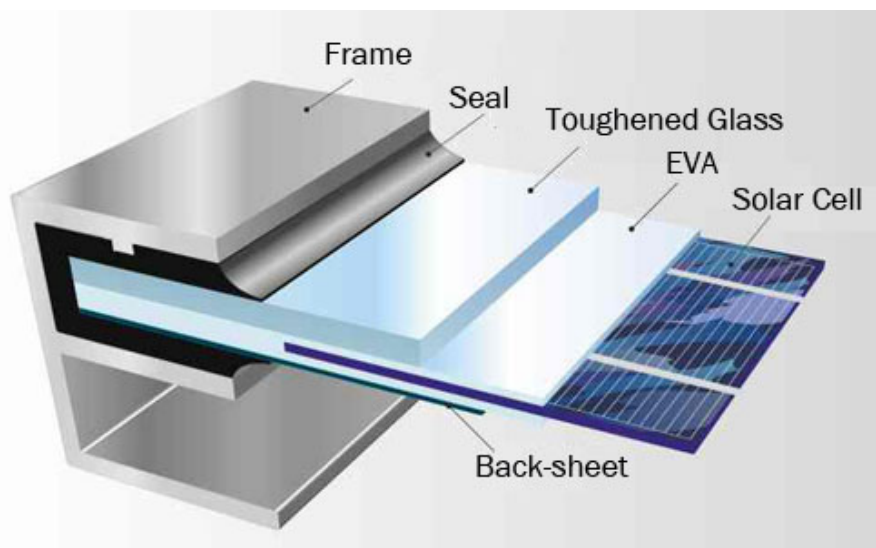
### Fotovoltaický systém

V předchozí kapitole byly popsány fotovoltaické články. Chceme-li je však používat k sofistikované výrobě elektřiny, je potřeba je doplnit o další prvky. Pomocí nich můžeme například regulovat velikost vyrobeného napětí, či skladovat vyrobenou energii. Dohromady pak tvoří fotovoltaický systém. Mezi tyto prvky patří: fotovoltaický panel, měnič, akumulátory vyrobené energie, regulátory nabíjení, MPPT, či Watt routery.

#### 5.1 Fotovoltaický panel

Napětí jednoho křemíkového článku, popsaného v minulé kapitole, je při zatížení zhruba 0,5 V, což je pro další použití málo. Články jsou proto zapojeny do série, například po 36; tím vzniká FV panel o celkovém napětí 18 V.

Panel je nutné zapouzdřit a tím chránit fotovoltaický článek, který obsahuje, před znečištěním, mechanickým poškozením a korozí. To je realizováno jako například na obrázku 5.1, kde vrstvami jsou zleva: hliníkový rám, těsnění, sklo, folie EVA (ethylen-vinyl acetátový kopolymer), fotovoltaický článek a vodotěsná folie. Současně je nutné dbát na to, aby ochranný materiál nesnižoval účinnost, např. sklo na přední straně je vyráběno s nízkým obsahem železa, tedy větší propustností než sklo normální.

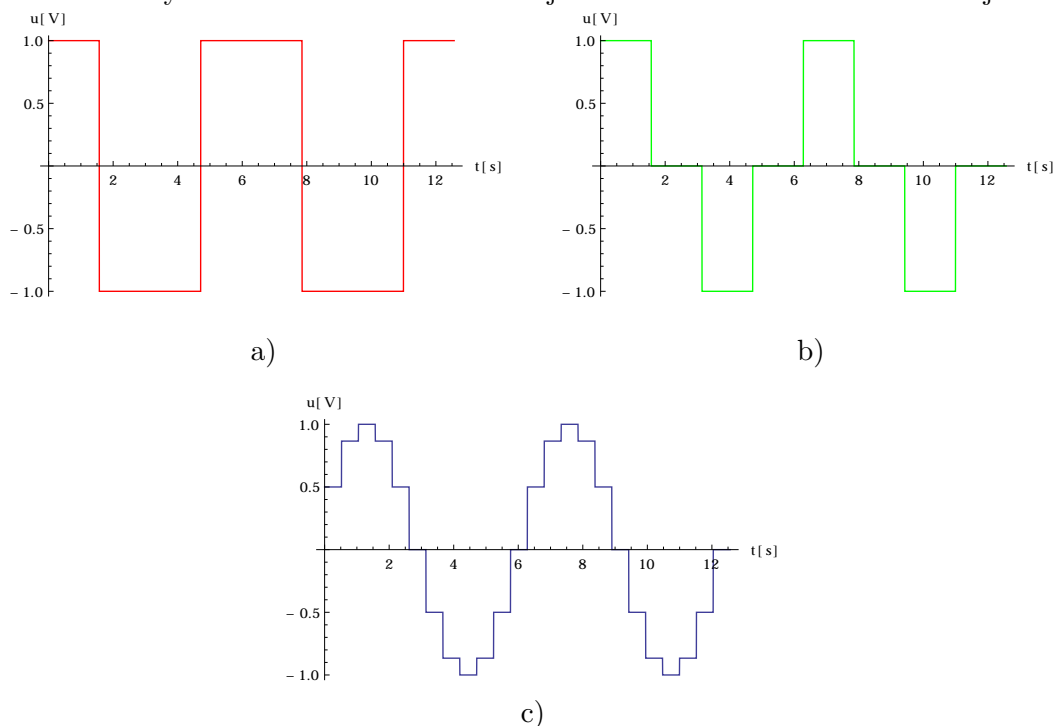


Obrázek 5.1. Schéma solárního panelu [13]

#### 5.2 Měnič (střídač)

FV panely vyrábí stejnosměrný elektrický proud; ten je však pro chod běžných spotřebičů, či dodávku do sítě nevhodný. Řešením je použití spotřebičů na stejnosměrný proud, nebo užití měniče, který převede stejnosměrný proud na střídavý. Zvýšení

napětí na potřebnou hladinu, tedy z 12 V, nebo 24 V stejnosměrného napětí, na 230 V střídavých je možné realizovat zabudovaným transformátorem. Existují ale i střídače beztransformátorové. Levné střídače produkují obdélníkové napětí, které nemůže být dodáváno do sítě a je i nevhodné pro správnou funkci mnohých elektrických strojů a přístrojů. Lepší varianty vytváří tvar sinusový, nebo kvazisinusový. Srovnání těchto tří variant je na obrázku 5.2, kde a) označuje obdélníkový průběh, b) kvazisinusový a c) sinusový. Název sinusový je zde trochu zavádějící, neboť nejde o čistě sinusový tvar. Nicméně se mu blíží a jeho celkové harmonické zkreslení je malé.



**Obrázek 5.2.** Výstupní tvar napětí střídače

V dnešní době jsou střídače vybaveny technologií MPPT (viz. 5.5), vzdáleným monitoringem, či dokonce integrovaným malým akumulátorem. [14] Účinnost tohoto prvku se pohybuje kolem 95 %, životnost je zhruba 10 let.

Na trhu je možné se setkat také s tzv. mikroměniči. Jde o měniče menších výkonů, které jsou připojeny přímo na jednotlivé panely. Tím je možno maximalizovat výkon každého panelu a ne pouze systému jako celku. Umožňuje také zjistit aktuální výrobní bilanci konkrétního panelu. Při poruše mikroměniče dochází ke ztrátě jen zlomku vyrobené energie elektrárny a ne všeho, jak by tomu bylo u jednoho centrálního střídače. V porovnání se standardní variantou ale nevýhodou stále zůstává vyšší pořizovací cena.

## 5.3 Akumulace energie

Jednou z nevýhod fotovoltaiky je proměnlivé množství vyrobené elektrické energie v závislosti na mnoha faktorech, jak již bylo uvedeno v kapitole 2.2. V mnoha aplikacích je tedy nutné vyrobené přebytky ukládat pro pozdější užití. To se v praxi děje dvěma způsoby: přímým ukládáním elektrické energie do akumulátoru, nebo akumulací ve formě tepla.

### 5.3.1 Elektrické akumulátory



Obrázek 5.3. Příklad měniče [15]

Akumulátory jsou zařízení k ukládání vyrobené elektřiny pro pozdější využití. Existuje více variant, u kterých se sledují důležité parametry: životnost, cena, napětí akumulátoru, samovybíjecí schopnost a jiné.

Nejčastěji používané jsou olověné akumulátory pracující na stejném principu jako ty v automobilech. Ty pro auta však nejsou stavěny na hluboké vybíjení. Proto je do nich přidáván antimon, který umožní vybíjení až na 20 % kapacity. Vyrábí se ve dvou variantách, otevřené a zavřené. První varianta je levnější, ale vyžaduje údržbu. Životnost je 10 let.

Další variantou jsou nikl-kadmiové baterie, ve kterých jako anoda slouží hydroxid niklu, oxid kadmia poté jako katoda. Oproti olověnému akumulátoru není jeho kapacita tolik teplotně závislá a vydrží více nabíjecích cyklů. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena. [5]

### ■ 5.3.2 Akumulace v teple

Vyrobenou elektřinu lze použít k ohřevu vody v akumulačních ohřivačích. To jsou dobře tepelně izolované nádoby o objemu 100 l a více, vybavené elektrickým ohřevem. Velkou výhodou může být možnost ohřevu stejnosměrným proudem. V takovém případě nemusí FV systém obsahovat střídač, který běžně tvoří desítky procent ceny systému. Při nedostatku elektřiny z fotovoltaiky může být voda na provozní teplotu dohřívána elektricky ze sítě, nebo celý akumulační systém může sloužit pouze jako předstupeň plynového kotle. Tímto způsobem je možné snížit výdaje domácnosti na vytápění a ohřev vody.

## ■ 5.4 Regulátor napájení

Regulátor napájení akumulátoru je zařízení, které sníží výstupní napětí FV panelů, aby bylo vhodné pro nabíjení akumulátorů. Kontroluje stav nabití a dle toho zapíná a vypíná nabíjecí proces. Dále se snaží zabránit hlubokému vybíjení a také přebíjení, neboť oba tyto děje nepříznivě ovlivňuje životnost akumulátoru.

## 5.5 Maximum Power Point Tracker (MPPT)

MPPT je zařízení k maximalizaci výkonu fotovoltaického systému. Principem zařízení je vysokofrekvenční stejnosměrný měnič, který mění vyrobené napětí tak, aby pracovní bod na VA charakteristice zůstal v místě největšího výkonu. Tím jsou kompenzovány různé velikosti připojené zátěže, či částečné zastínění panelu.

Účinnost se pohybuje až k 98 %. Při pořizování je nutné vzít v úvahu, zda přínos zařízení je větší než jeho spotřeba energie a pořizovací cena. V dnešní době je však MPPT součástí většiny střídačů a regulátorů nabíjení. [5]

## 5.6 Watt router

Watt router je zařízení sloužící k optimalizaci spotřeby energie vyrobené FV panely tím, že minimalizuje přetoky do distribuční sítě. Sestává se ze dvou částí: měřící jednotky a regulátoru. První z nich měří proudy tekoucí do a ze systému. Regulátor poté dopočítává z naměřených dat výkon. Zjistí-li, že FV panely vyrábí elektřinu, začne s rostoucím výkonem postupně připojovat jednotlivé spotřebiče dle nastavených priorit. Spínání může být realizováno pomocí relé, nebo s plynulou regulací výkonu přes triaky. Při poklesu výkonu jsou opět dle priorit spotřebiče odepínány.

Takto je možno regulovat bojler, či tepelná čerpadla, a tím akumulovat energii v době, kdy se jí vyrábí nadbytek. Přístroj bývá vybaven datovými výstupy pro nastavování a sledování chodu systému. To je u některých modelů možné i vzdáleně přes internet. [16] Jde o poměrně levné zařízení, aktuální cena se pohybuje mezi 3000 - 8000 korun. [17]

- Na základě analýzy komponentů FV systému provedené v kapitole 5 jsem se rozhodl pro instalaci využívající akumulaci vyrobené elektřiny do teplé vody. Jde o variantu s nízkými pořizovacími náklady a velmi lehce implementovatelnou do běžných rodinných domů. Vodu budu ohřívat stejnosměrným proudem, abych se tím vyhnul pořizování drahého střídače, který také dosahuje nízké životnosti - poloviční proti samotným panelům.

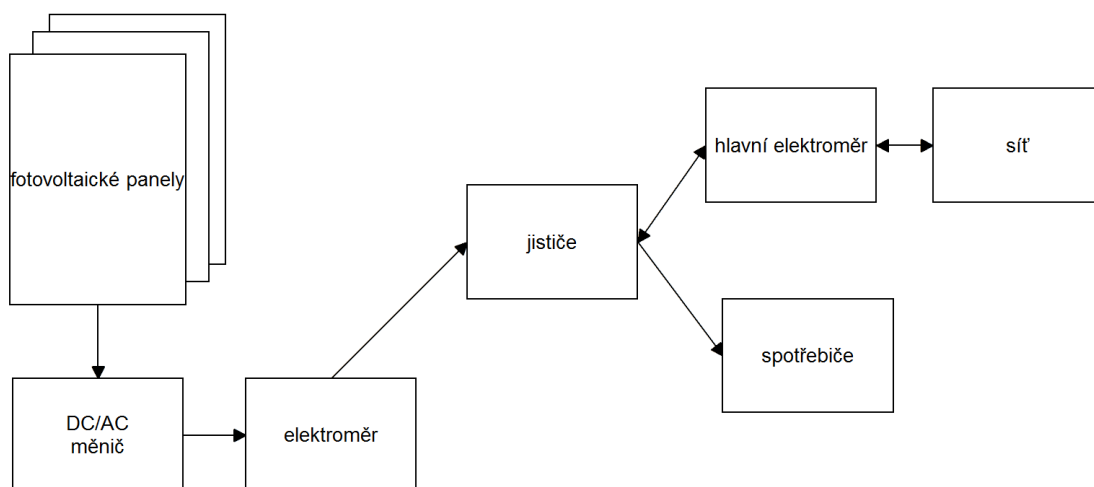
# Kapitola 6

## Možné instalace

Fotovoltaické elektrárny můžeme rozdělit na několik druhů podle toho, jakým způsobem jsou závislé na vnější elektrické síti.

### 6.1 On-grid instalace

Jak napovídá název, jsou tyto instalace připojeny na síť. Existují dvě strategie provozu těchto systémů. První by se dala nazvat čistě producentská, kdy vyrábíme elektřinu a tu dodáváme do sítě. V druhém případě, převážně aplikovaném na rodinných domech, se snažíme co nejvíce vyrobené elektřiny sami spotřebovat. Do sítě dodáváme jen přebytky, popřípadě z ní čerpáme elektřinu v době, kdy není vlastní výroba dostačující. Připojení FV elektrárny do sítě je možné pouze na základě povolení od provozovatele distribuční sítě.

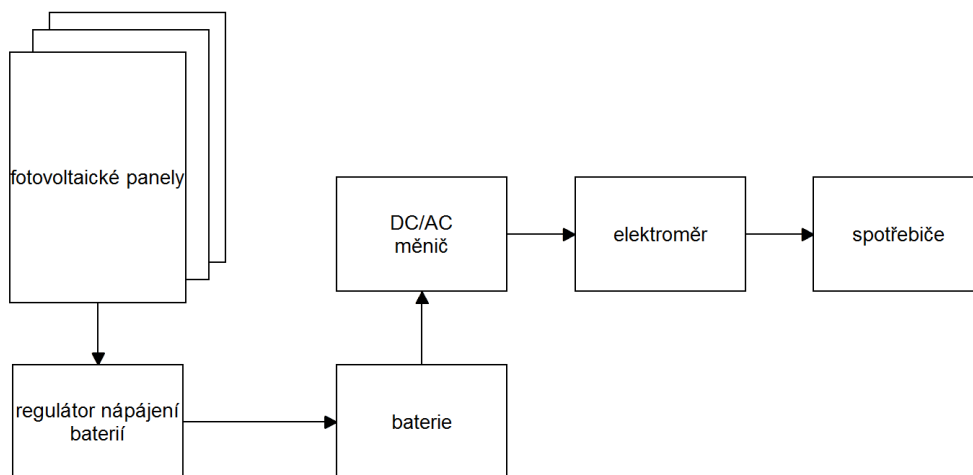


Obrázek 6.1. Schéma zapojení on-grid instalace

### 6.2 Off-grid instalace

Off-grid systémy, někdy také nazývány ostrovní, jsou vhodné tam, kde není k dispozici přípojka k distribuční síti elektrické energie, nebo by její výstavba byla příliš finančně náročná. Přes den se vyrobená elektřina spotřebovává, přebytky se ukládají do akumulátorů pro pozdější využití, například v noci. V zimě nebo při oblačnosti není fotovoltaický systém schopen dodat dostatek energie pro celodenní provoz spotřebičů. Z tohoto důvodu bývá systém doplněn o záložní zdroj, nejčastěji diesellový agregátor. Výhodou tohoto systému je, že k jeho provozování není potřeba souhlasu distributora, neboť není do jeho sítě připojen.



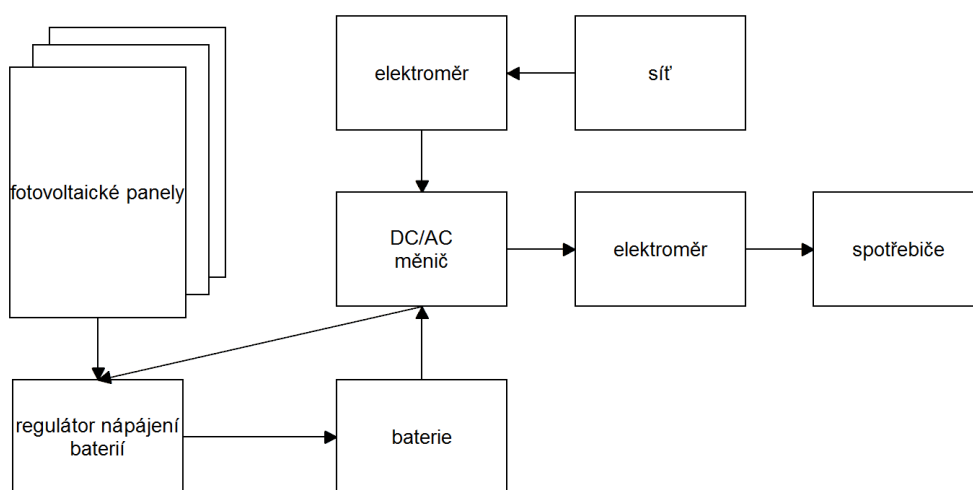


Obrázek 6.2. Schéma zapojení off-grid instalace

### 6.3 Hybridní instalace

Hybridní FV elektrárna je do jisté míry kombinací předchozích dvou typů. Vyrobená elektřina je ukládána do baterií a v případě potřeby spotřebovávána. Při nedostatku vlastní energie je možné napájení z distribuční sítě. V tomto případě však nechceme dodávat energii zpět do sítě, neboť bychom poté museli splňovat podmínky pro připojení výroby do distribuční sítě. Je tedy nutné zabezpečit, aby nedocházelo k přetokům do distribuční sítě a ta ani nebyla námi negativně ovlivněna. Toho lze docílit dobrým galvanickým oddělením. [18]

Nevýhodou této varianty stále zůstává cena akumulátorů použitelných v aplikacích FV elektrárny.



Obrázek 6.3. Schéma zapojení hybridní instalace

- V této kapitole jsem analyzoval existující druhy instalací: on-grid, off-grid a hybridní. V dnešní době, kdy kupní cena elektřiny několikanásobně překračuje prodejní cenu elektřiny, je dobré do sítě dodávat minimum elektřiny a většinu spotřebovat. Takto lze provozovat všechny zmíněné systémy. Já jsem se ve svém návrhu rozhodl provozovat systém off-grid, neboť pro jeho zřízení není potřeba žádat o připojení do sítě, je zatížen menším množstvím formálních povinností spojených s provozem a je možné jej provozovat v zapojení s akumulátorem. Hybridní systém by byl pro můj návrh také vhodný, ale o mnoho dražší.

# Kapitola 7

## Kritéria ekonomické efektivity investice

Předtím než investujeme do výstavby FV elektrárny, je nutné spočítat si ekonomickou efektivnost tohoto kroku a to ze dvou důvodů. Zaprvé zjistíme, zda se daná investice vyplatí. Za druhé je tento výpočet nutný, budeme-li žádat o půjčku v bance. V této kapitole budou uvedeny základní metody, které se k výpočtu ekonomické efektivity dají použít.

### 7.1 Základní pojmy

Výpočet ekonomické efektivity je prováděn v penězích, proto do něj není možno promítnout faktory, jejichž cena se penězi vyjádřit nedá. Jde například o estetičnost stavby, nebo vliv na životní prostředí. Chceme-li je přesto zohlednit, je nutné využít více kritériálního rozhodování, v kterém zohledníme i váhu těchto aspektů pro zadavatele. Takovýto postup je však velmi složitý a nejednoznačný.

Základní veličinou pro výpočet je peněžní tok (CF), který vyjadřuje rozdíl mezi příjmy a výdaji za dané období, dle [19]:

$$CF = \text{počáteční stav peněz a peněžních ekvivalentů} + \text{příjmy} - \text{výdaje} \quad (7.1)$$

Je důležité mezi výdaje započítat nejen pořizovací výdaje, ale také provozní výdaje, reinvestice a výdaje na likvidaci panelů. Reinvestice jsou výdaje na koupi některých dílčích prvků systému, pokud je jejich životnost kratší než životnost celého systému.

Další důležité faktory, které ovlivní výhodnost, jsou: životnost FV elektrárny, velikost zdanění, či možné dotace od státu.

### 7.2 Současná čistá hodnota (NPV)

NPV je součtem hotovostních toků plynoucích z investice za určitou dobu. Neboť ale musíme zohlednit časový horizont, jsou hotovostní toky diskontovány. Diskontní sazba představuje časovou hodnotu peněz. Popisuje, jak nejlépe by se jinak daly peníze zhodnotit při stejné míře rizika. Dle [19] výpočet provádíme podle vzorce:

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_z} CF_t \cdot (1+r)^{-t} \quad (7.2)$$

Kde  $CF_t$  je tok hotovosti v čase  $t$ ,  $r$  je diskontní sazba,  $t$  udává čas a  $T_z$  je životnost investice.

Realizujeme jen ty investice, pro které platí  $NPV \geq 0$ . Rozhodujeme-li se mezi více, vzájemně se vylučujícími se investicemi, volíme tu s větší NPV.

### 7.3 Vnitřní výnosové procento (IRR)

IRR představuje takovou úrokovou míru, pro kterou je NPV nulové. V [19] je výpočet prováděn dle vzorce:

$$\sum_{t=0}^{T_z} \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} = 0 \quad (7.3)$$

Kde  $CF_t$  je tok hotovosti v čase  $t$ ,  $t$  udává čas a  $T_z$  je životnost investice. Realizujeme investice, pokud je IRR větší než požadovaná diskontní sazba.

### 7.4 Prostá doba návratnosti (PP)

PP je ukazatel, který říká, za jak dlouho se vrátí původní investiční náklady. Nebere však v potaz časovou cenu peněz. Největším nedostatkem tohoto ukazatele je, že nikterak neodráží, co se děje s investicí mezi prostou dobou návratnosti a koncem životnosti investice. Jde tedy spíše o informativní ukazatel, který je ale bohužel implementován v legislativě ČR (viz kapitola 8.1). Podle [19] při výpočtu sčítáme cash flow až do doby, kdy je roven nule, platí:

$$\sum_{t=0}^{PP} CF_t \geq 0 \quad (7.4)$$

$CF_t$  je tok hotovosti v čase  $t$ ,  $t$  udává čas.

Je-li PP kratší, než je životnost investice, je rozumné ji uskutečnit. Nicméně za tuto dobu se nám vrátí pouze původní náklady bez jakéhokoliv zhodnocení.

- V kapitole 7 jsem popsal několik základních ukazatelů, podle nichž je možné hodnotit ekonomickou efektivity investice. Konkrétně to byly ukazatele současná čistá hodnota (NPV) a vnitřní výnosové procento (IRR). Pro úplnost jsem uvedl také prostou dobu návratnosti (PP), která je používána při stanovení garantovaných výkupních cen z FVE. Jsem si však vědom jejich značných nedostatků a pro hodnocení své investice ji nebudu používat.

## Kapitola 8

# Podpora obnovitelných zdrojů v ČR

Výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů je v České republice podporována formou přímé subvence; třemi způsoby. Energetický regulační úřad stanovuje garantovanou výkupní cenu elektřiny a dále přináší program Zelený bonus. [20] Mimoto mohou i ostatní státní instituce nabídnout konkrétní formu podpory, jak se tomu stalo například u Ministerstva životního prostředí s programem Nová zelená úsporám.

Výrobce si může vybrat jen jeden z programů: výkupní ceny a zelené bonusy. Přecházet mezi programy je možné jednou ročně.

### 8.1 Garantovaná výkupní cena

V tomto případě musí distributor vykoupit všechnu elektřinu vyrobenou fotovoltaickou elektrárnou a to za cenu stanovenou cenovým rozhodnutím ERÚ v době uvedení do provozu. Ta je po dobu životnosti navyšována o 2 % ročně.

Základní myšlenkou podpory je zajištění čisté doby návratnosti investice 15 let. [21] Tím, jak se mění ceny nákladů, se mění i doba návratnosti. Výkupní ceny stanovené každý rok se proto mohou lišit, maximálně ale o 5 %. Klesne-li však návratnost investice pod 12 let, je dovolena vyšší meziroční změna výkupních cen.

Od roku 2014 není tato podpora pro FVE vypisována, protože instalovaný výkon fotovoltaických elektráren již dosáhl úrovně, kterou si stát předsevzal v Národním akčním plánu pro energii z obnovitelných zdrojů.

### 8.2 Zelený bonus

V této formě podpory je vyplácen zelený bonus na všechnu vyrobenou elektřinu nehlédě na to, zda je spotřebována v místě výroby, či dodána do distribuční sítě. Nicméně rozhodne-li se výrobce elektřinu prodávat, není zde garantováno, že bude elektřina vykoupena. Výrobce si tedy musí sám zajistit odběratele. Vyšší míra rizika je vykompenzována vyšší dotací v porovnání s modelem garantované výkupní ceny.

Výše zeleného bonusu je stanovena každý rok dle ceny silové elektřiny na trhu, není zde garance návratnosti 15 let. Dotaci vyplácí Operátor trhu s elektřinou.

Stejně jako garantovaná výkupní cena není tato podpora od roku 2014 pro fotovoltaiku vypisována.

### 8.3 Investiční podpora

Od 22. 10. 2015 je možné žádat dotace pro rodinné domy z programu Nová zelená úsporám Ministerstva životního prostředí a Státního fondu životního prostředí. Tyto dotace se vztahují také na malé fotovoltaické systémy. V tomto programu, plánovaném až do roku 2021, hodlají výše zmíněné instituce formou jednorázových dotací přerozdělit peníze získané z prodeje emisních povolenek. Plánované celkové množství podpory je

27 miliard korun. Cílem projektu je přinést energetickou soběstačnost domácností a snížit závislosti naší ekonomiky na fosilních palivech. [22] Existují čtyři možné varianty podpory fotovoltaiky dle parametrů instalace. [23]

### 8.3.1 Off-grid systémy

První podporovanou variantou jsou off-grid systémy pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem. Akumulační zásobník tepla musí mít objem alespoň  $80 \text{ l/kWp}^1$ ) a minimální pokrytí potřeby tepla na přípravu teplé vody musí být 50 %. Fotovoltaický systém musí být vybaven optimalizací na velikost zátěže (např. MPPT). Dále je stanovena i minimální účinnost použitým modulů. Mono- a polykrystalické moduly musí dosahovat účinnosti alespoň 15 %, tenkovrstvé amorfnní 10 %. Poslední dvě zmíněné podmínky jsou stejné i pro on-grid instalace.

### 8.3.2 On-grid systémy

Byla také vypsána podpora pro síťové systémy do  $10 \text{ kWp}$ , které budou do distribuční soustavy připojeny po 1. 1. 2016. Podmínkou je, že alespoň 70 % z předpokládané vyrobené elektřiny musí být spotřebována v místě výroby. Ministerstvo rozlišuje tři skupiny dle toho, zda je možné přebytky energie ukládat ve formě tepelné, nebo elektrické energie. U ukládání v elektrických akumulátorech je dále rozhodující, jak velký je celkový využitelný zisk energie elektrárny.

### 8.3.3 Výše podpory

Výše dotace pro jednotlivé typy systémů jsou uvedeny v tabulce 8.1. Současně ale platí, že dotace může pokrýt maximálně 50 % výdajů na realizaci a pro jednoho žadatele nesmí překročit 5 mil. Kč.

typ systému	výše podpory [Kč/dům]
Solární FV systémy pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem	35 000
Solární FV systémy bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem $\geq 1700 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$	55 000
Solární FV systémy s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 1700 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$	70 000
Solární FV systémy s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 3000 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$	100 000

**Tabulka 8.1.** Výše podpory fotovoltaiky, převzato z [23]

- V této kapitole jsem analyzoval jednotlivé možnosti podpory obnovitelných zdrojů v ČR. Nejdříve jsem zmínil ty, které již několik let pro fotovoltaické systémy vypsány nebyly a to garantovaná výkupní cena a zelený bonus. Dále byla uvedena nová investiční podpora Nová zelená úsporám. Ta je vypsána jak pro on-grid, tak i off-grid instalace fotovoltaiky na rodinných domech, avšak vždy s akumulací vyrobené energie a požadavkem na velké množství spotřebované energie v místě výroby. Svůj návrh budu dimenzovat tak, abych na tuto podporu dosáhl.

<sup>1)</sup>  $\text{kWp}$  [kilowatt peak] je veličina udávající špičkový výkon solárního panelu, tedy maximální výkon za standardních testovacích podmínek

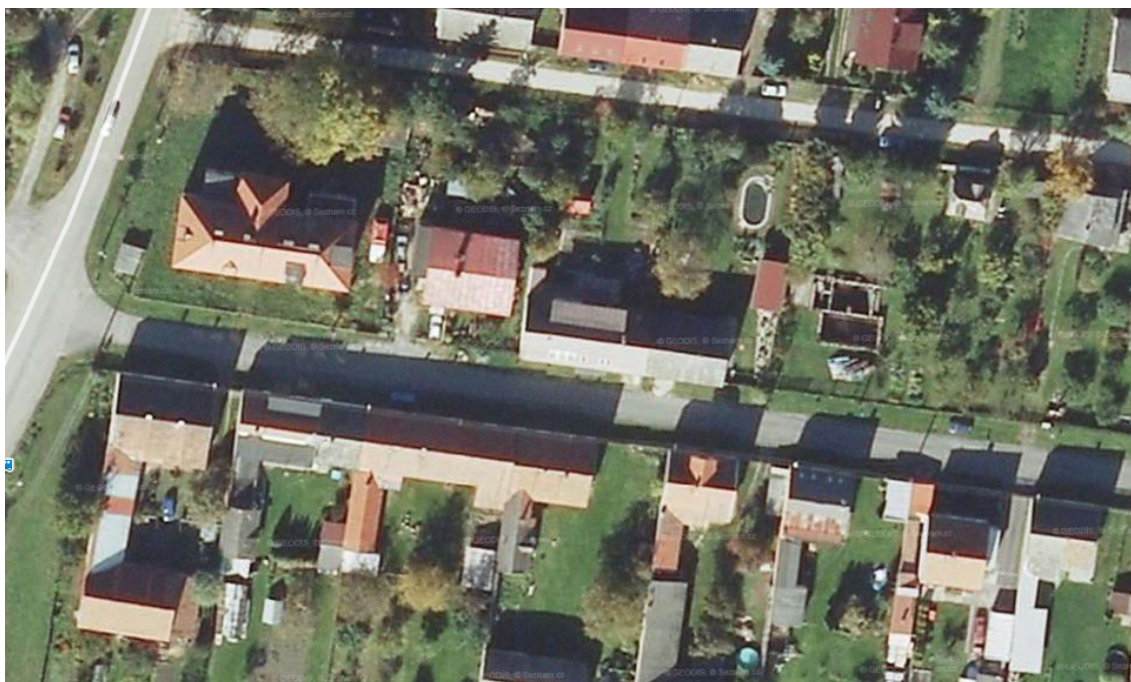
# Kapitola 9

## Návrh fotovoltaické elektrárny

V této kapitole bude navržen fotovoltaický systém na ohřev teplé vody pro konkrétní objekt. Cílem je vytvořit takový systém, který využívá dostupné technologie na českém trhu, splňuje podmínky dotačního programu Nová zelená úsporám a jehož instalace je ekonomicky výhodná.

### 9.1 Popis objektu

Návrh fotovoltaické elektrárny je zpracován pro konkrétní objekt, rodinný dům o třech bytových jednotkách, nacházející se na severozápad od Prahy v obci Třtice (50.1832878N, 13.8597206E, 454 m. n. m.). Na obr. 9.1 ve středu s hnědou střechou. Ta je orientována severním a jižním směrem. Použitou střešní krytinou je plech s nízkou vlnou. Odklon od absolutního jihu je  $5^\circ$ . Střecha není nikdy během roku výrazně zastíněna okolními budovami.



Obrázek 9.1. Umístění objektu v obci [24]

Pro návrh fotovoltaické elektrárny je relevantní pouze jižní část střechy, jak již bylo uvedeno v kapitole 3.4. Střecha má sklon  $40^\circ$ . Jižní pohled na objekt je uveden v příloze B. Z něho je patrné, že se ve spodní části střechy nacházejí střešní okna. Zde tedy není možno instalovat FV panely. Nad nimi je volný pruh o výšce 4,38 m a délce 20,33 m. Tedy přibližně  $89,05 \text{ m}^2$  použitelné plochy střešní krytiny.



Objekt byl původně navržen jako jednogenerační. V roce 2015 však prošel celkovou rekonstrukcí, při níž v něm byly zřízeny tři samostatné bytové jednotky. Objekt je připojen k elektrizační síti, nemá však plynovou přípojku. K ohřevu teplé vody je využit elektrický bojler o objemu 200 l s trubkovým výměníkem. Vytápění objektu je realizováno kotlem na tuhá paliva. Ten je během topné sezóny využit i k ohřevu teplé vody. Spotřeba elektřiny na ohřev vody před rekonstrukcí činila ročně 5,657 MWh.

Po již skončené rekonstrukci by měly být tři výše zmíněné bytové jednotky obývány 6 dospělými osobami a 4 dětmi. Z tohoto důvodu bude nutné zvýšit objem elektrického bojleru. V následujících kapitolách bude navržen systém fotovoltaického ohřevu vody pro uvažovanou budovu, který bude zohledňovat plánované zvýšení spotřeby teplé vody.

## 9.2 Fotovoltaický systém

K výstavbě na uvažovaný objekt se nabízí různé varianty instalací fotovoltaických elektráren; ty již byly popsány v kapitole 6. Jedním z rozhodovacích kritérií při výběru jednoho z nich je výkupní a nákupní cena elektřiny. Objekt odebírá elektřinu od společnosti ČEZ distribuce v tarifu D25d, tedy variabilní složka ceny elektřiny v roce 2016 je 3,98 Kč/kWh ve vysokém tarifu a 1,31 Kč/kWh<sup>1)</sup> v nízkém. [25]

Chceme-li prodávat elektřinu, je nutné si najít vlastního odběratele. Výkupní ceny elektřiny jsou v dnešní době velmi nízké. Pohybují se kolem 0,1 – 0,2 Kč/kWh, běžné ale dosahují i záporných hodnot. Velmi zajímavá je nabídka společnosti Amper market, která v rámci svého projektu virtuální elektrárny vykupuje elektřinu za 0,5 Kč/kWh. K využití této nabídky je však podmínkou odebírat elektřinu od této firmy. [26]

Logickou úvahou je tedy zřejmé, že se vyplatí maximum vyrobené elektřiny spotřebovat. Spotřebujeme-li veškerou vyrobenou energii k ohřevu teplé vody, pak lze využít systém off-grid. Výhodou ostrovního systému je také možnost jeho provozu ve stejnosměrném režimu. Tím se ušetří podstatná část nákladů, cena měniče se totiž pohybuje mezi 25 - 100 tisíci korun, dle velikosti instalace.

V následujícím textu bude navržena off-grid fotovoltaická elektrárna, z které bude stejnosměrně napájen elektrický ohříváč vody.

### 9.2.1 Systém ohřevu vody

Na českém trhu jsou k dostání dva fotovoltaické systémy k ohřevu teplé vody. První z nich je od společnosti Solar Kerberos. Zařízení je určeno k připojení mezi fotovoltaické panely a elektrický bojler. Pracuje jako MPPT a Watt router s digitálním zobrazením a záznamem chodu systému. Dle informací výrobce lze Solar Kerberos připojit k jakémukoliv bojleru. [27] Nevýhodou je, že existují jen 3 varianty systému dle výkonu připojovaných panelů. Maximální instalovaný výkon fotovoltaických panelů, na který je systém navržen, je 2 kWp.

Druhý systém nabízí český výrobce elektrických ohříváčů vody Družstevní závod Dražice. Ty vyrábí pro své bojlerové speciální DC spirály pro ohřev vody (TPK 210 – 12 /LX DC). Ten je možné nainstalovat do libovolné akumulární nádrže s otvorem o průměru příruby 210 mm. Dále firma dodává také Watt router (LXDC BOX), ke kterému je možné připojit až 6 kWp fotovoltaických panelů. Ty však mohou být zapojeny pouze ve stringách po maximálním instalovaném výkonu 2 kWp. LXDC BOX připojuje panely k topnému tělesu. Při dosažení potřebné teploty ohřívání vody je bojler odpojen a vyráběná elektřina může být přesměrována do měniče, či jiného stejnosměrného

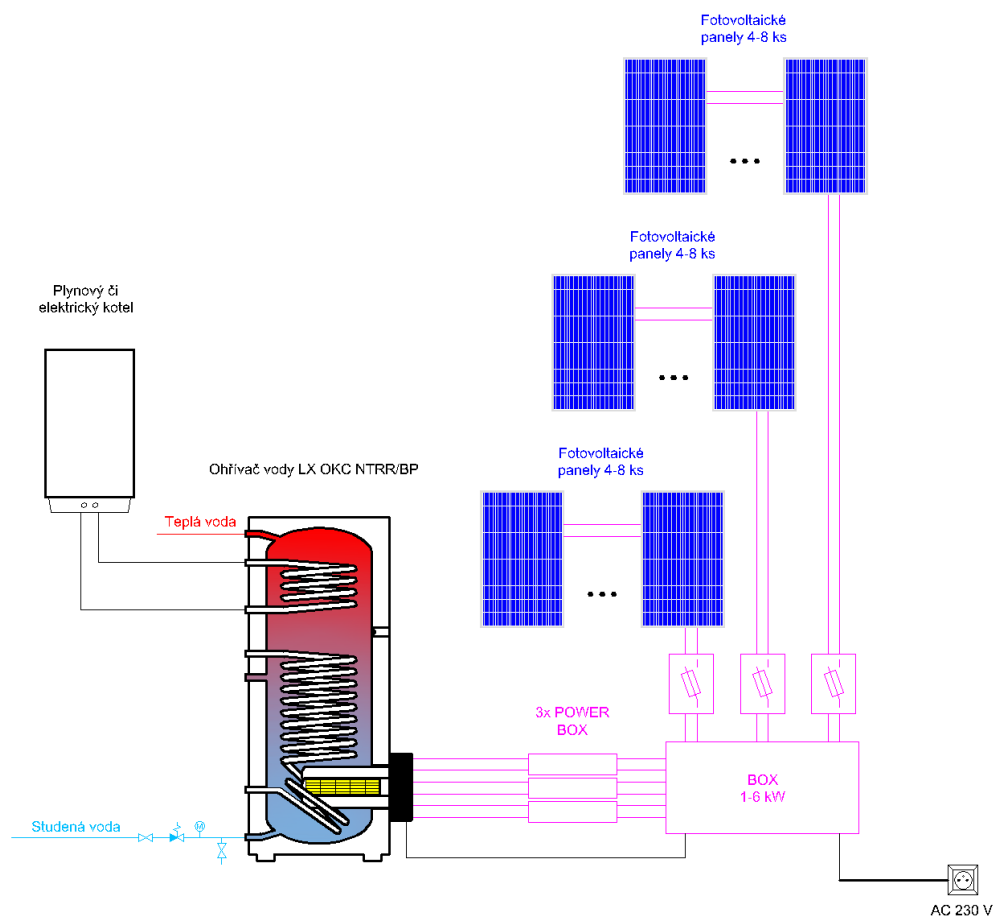
<sup>1)</sup> Uvedené ceny se skládají z platby distributorovi, poplatku za systémové služby a ceny silové elektřiny.



zařízení. DZ Dražice také nabízí vlastní systém MPPT, který prodává pod označením LXDC Power Box.

Z uvedených variant jsem pro uvažovaný objekt zvolil systém od Družstevních závodů Dražice, protože od této společnosti je možné zakoupit jak fotovoltaický systém, tak i kvalitní nádobu bojleru. Je tak zaručena kompatibilita. Další předností je vyšší maximální instalovaný výkon panelů, které je možné k systému připojit.

Po konzultaci se zástupcem společnosti DZ Dražice jsem na základě počtu obyvatel a volné plochy střešní krytiny stanovil potřebnou konfiguraci systému. Ten se bude sestávat z 6  $kWp$  fotovoltaických panelů a LXDC BOXu. Neboť bude všechna vyrobená elektřina sloužit výhradně k ohřevu TUV, bude LXDC BOX sloužit pouze k bezpečnému odpojení panelů v případě dosažení požadované teploty vody. Proto, aby byly splněny podmínky dotačního programu, bude zapojení doplněno o tři LXDC Power Boxy, každý pro jeden string panelů o instalovaném výkonu 2  $kWp$ . Dále bude v systému ohřívač vody s trubkovým výměníkem, DC a AC topnou spirálou. Jeho návrhu se věnuje kapitola 9.2.3. Schématické zobrazení uvažovaného systému je na obr. 9.2.



Obrázek 9.2. Schéma možného zapojení systému DZ Dražice [28]

### 9.2.2 Výběr fotovoltaických panelů

Na českém trhu je k dostání velké množství fotovoltaických panelů, které se liší technologií výroby, velikostí výstupního napětí, či velikostí svého výkonu. Běžně při výběru bývá nejdůležitějším parametrem poměr ceny a výkonu. V případě využití dražického

systému ohřevu vody a státní podpory Nová zelená úsporám je nutné, aby panely splňovaly další, konkrétní kritéria.

Požadavky kladené na FV panely:

- Napětí:  $30\text{ V} \pm 10\%$
- Proud:  $8,3\text{ A} \pm 5\%$
- Výkon:  $250\text{ W}$
- Účinnost:  $> 15\%$  (mono- a polykrystalické),  $> 10\%$  (tenkovrstvé)

Výše uvedené podmínky splňuje například polykrystalický fotovoltaický panel BenQ GreenTriplex PM060P00  $250\text{ W}$ . Na tento výrobek se vztahuje záruka 10 let. Garantovaný pokles výkonu v prvním roce provozu je maximálně o  $2,5\%$ , v každém z následujících let poté o  $0,7\%$ . Na konci 25. roku nepřesáhne celkový pokles výkonu  $80,2\%$ .

Parametry panelu BenQ GreenTriplex PM060P00  $250\text{ W}$  [29]:

- Název: BenQ GreenTriplex PM060P00  $250\text{ W}$
- Výrobní řada: [Mainstream] GreenTriplex
- Výkon:  $250\text{ W}_p$
- Účinnost:  $15,5\%$
- Nominální napětí ( $V_{mp}$ ):  $30,6\text{ V}$
- Nominální proud ( $I_{mp}$ ):  $8,17\text{ A}$
- Napětí naprázdno ( $V_{oc}$ ):  $37,4\text{ V}$
- Proud nakrátko ( $I_{sc}$ ):  $8,69\text{ A}$
- Rozměry LxWxH:  $1639 \times 983 \times 40\text{ mm}$
- Hmotnost:  $18,5\text{ kg}$
- Maximální systémové napětí:  $1000\text{ V}$
- Cena bez DPH:  $3827\text{ Kč}$

V zamýšlené instalaci  $6\text{ kW}_p$  bude na střechu objektu instalováno 24 panelů. Návrh jejich rozmístění na střeše je uveden v příloze B.

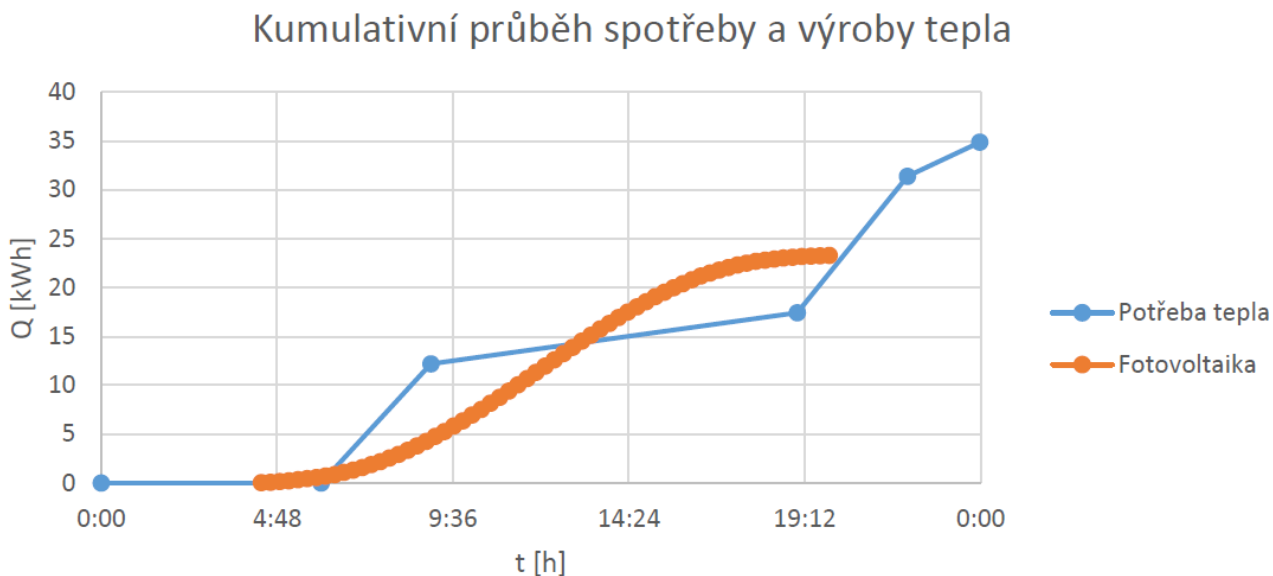
### 9.2.3 Návrh velikosti bojleru

Návrh velikosti bojleru je možné provádět několika způsoby. Například je možné využít online kalkulaček. Tu nabízí na svých internetových stránkách společnost PRE [30]. Nevýhodou tohoto postupu je nemožnost zjistit algoritmus, dle něhož je prováděn výpočet, a tak ověřit správnost.

Další možností výpočtu je využití technických norem. V České republice jsou v dnešní době platné dvě normy, které je možné k výpočtu použít.

Nejdříve je nutné stanovit denní spotřebu teplé vody o teplotě  $60\text{ °C}$ . Dle starší normy ČSN 06 0320 [31] je spotřeba teplé vody  $82\text{ l/osoba} \cdot \text{den}$ , dle novější harmonizované normy ČSN EN 15316-3 [32] je to  $40\text{ l/osoba} \cdot \text{den}$ . Ačkoliv jsou obě normy platné, použijí ve svých výpočtech novější, harmonizovanou normu. V posledních letech začali lidé šetřit s vodou, používají se například myčky nádobí, či perlátory. Z tohoto důvodu se domnívám, že hodnota  $82\text{ l/osoba} \cdot \text{den}$ , udávaná ve starší normě, již není aktuální. Pro uvažovaný objekt o 10 obyvatelích je tedy spotřeba teplé vody  $400\text{ l/den}$ .

K ohřátí  $400\text{ l}$  vody z  $10\text{ °C}$  na  $60\text{ °C}$ , při uvažování ztrát tepelného okruhu  $50\%$  bude potřeba dodat  $34,88\text{ kWh}$  elektrické energie. Velikost tepelných ztrát pro objekt je stanoven dle vyhlášky MPO 193/2007 Sb. [33] Spotřeba vody a tedy i energie je dle normy rozvrstvena během dne tak, jak je zobrazeno na obr. 9.3.



**Obrázek 9.3.** Kumulativní průběh spotřeby a výroby tepla k ohřátí vody v červnu

Na obrázku je zobrazeno i kolik energie průměrně dodají fotovoltaické panely v průběhu jednoho dne v červnu, když je jich výkon největší. Je zřejmé, že fotovoltaika sama o sobě nepokryje denní potřebu energie.

K analýze výkonu fotovoltaického systému byl použit geografický informační systém PVGIS. Jeho popis a užití je blíže popsáno v kapitole 9.3.

Rozdíl spotřebované a vyrobené energie v grafu je roven energii, která bude muset být dodána k ohřátí vody elektřinou ze sítě. Bojler bude provozován výhradně v době nízkého tarifu sazby D25d, tedy maximálně 8 hodin denně. Dle toho je nutné dimenzovat AC topné tělísko bojleru. Nejméně energie mimo topnou sezonu<sup>1)</sup>, kdy bude voda dohřívána z kotle na tuhá paliva, dodají fotovoltaické panely v říjnu: 12,90 kWh/den. Na dohřátí 21,98 kWh během 8 hodin proto z výrobní řady vyberu spirálu o výkonu 3,3 kW.

Největší rozdíl křivek dodané a odebrané energie odpovídá množství energie, potažmo objemu, které musí být schopný bojler akumulovat. Tento rozdíl je maximální právě v červnu, kdy je intenzita dopadajícího záření na panely maximální a tak křivka akumulovaného vyrobeného tepla nejméně lineární. Tento příklad je vyobrazen na obr. 9.4.

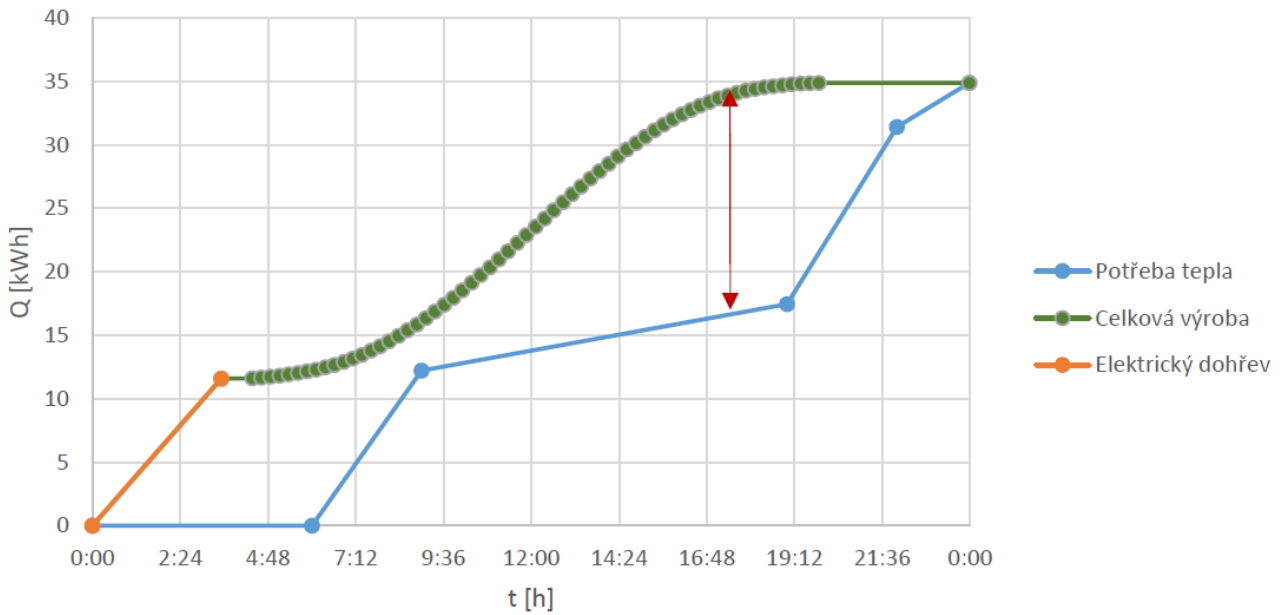
Zobrazenému rozdílu energií odpovídá objem bojleru 298 l, z výrobní řady bych proto vybral bojler o objemu 300 l. Ten by však nesplňoval podmínky žádosti o dotace z programu Nová zelená úsporám, jak byly popsány v kapitole 8.3. Pro instalaci panelů o výkonu 6 kWp je vyžadována akumulací nádoba o objemu alespoň 480 l. Pro svůj návrh proto zvolím nádobu LX OKC 500 NTR/BP o objemu 500 l s trubkovým výměníkem pro připojení kotle. Schéma tohoto stacionárního ohříváče je na obr. 9.5.

## 9.3 Vyrobená elektřina

Výkon fotovoltaického systému byl analyzován pomocí systému PVGIS, který je bezplatně k dispozici na internetových stránkách Evropské komise. [35]. Svůj výpočet zakládá na měření pozemních stanic a na matematických predikcích vycházejících z dat

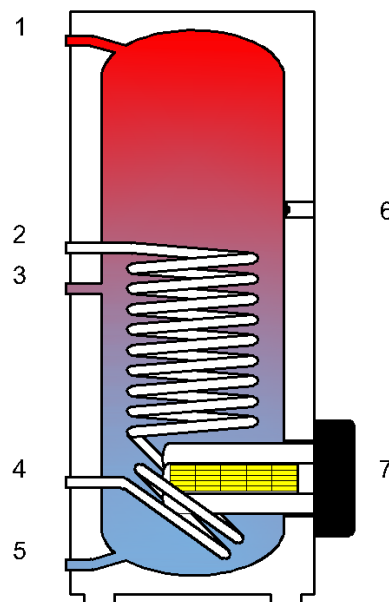
<sup>1)</sup> Pro účely tohoto výpočtu uvažují topnou sezonu od 1. listopadu do 1. března následujícího roku.

### Kumulativní průběh spotřeby a výroby tepla



**Obrázek 9.4.** Kumulativní průběh spotřeby a celkové výroby tepla k ohřátí vody v červnu

### Ohřívač vody LX OKC NTR/BP



**Obrázek 9.5.** Stacionární ohřívač vody LX OKC 500 NTR/BP [34]

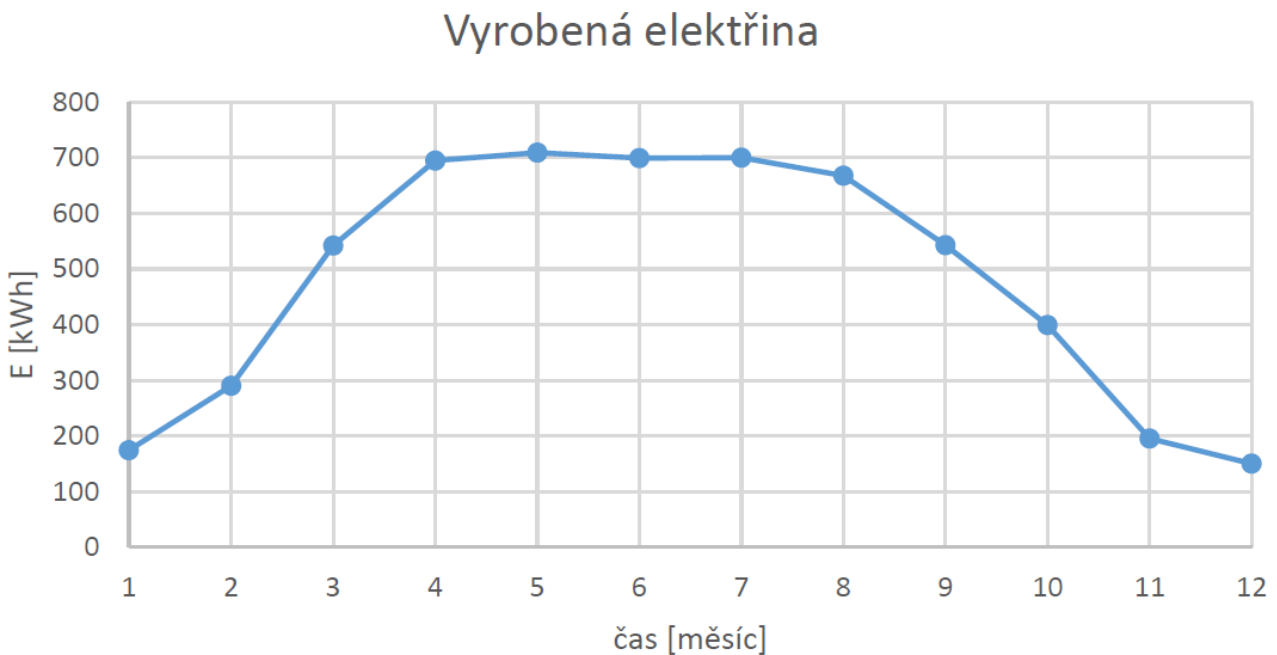
satelitů Meteosat. Použitá databáze dat CM-SAF PV GIS využívá měření získaných v letech 1998 a 2011.

Tento online nástroj je v praxi běžně využíván k návrhu fotovoltaických elektráren, neboť výsledky získané touto metodou se příliš neliší od těch skutečně naměřených.

Při simulaci uvažovaného systému je nutné zadat jeho instalovaný výkon, ztráty, typ panelů, jejich sklon a orientaci. Všechny tyto parametry jsou známé, vycházejí z návrhu provedeného v předchozí kapitole. Při určování ztrát jsem doporučené ztráty 14 % snížil na 11 %, protože PVGIS je prvotně navrhován pro on-grid instalace. Navrhovaná off-grid fotovoltaická elektrárna nebude obsahovat měnič a obvod se střídavým proudem, a proto lze předpokládat její nižší ztráty

### ■ 9.3.1 Roční rozložení vyrobené elektřiny

Množství vyrobené elektřiny v průběhu roku se bude lišit tím, jak se bude měnit intenzita dopadajícího záření na zemský povrch v místě instalace. Jednotlivé hodnoty jsou uvedeny na obr. 9.6, či v příložené tabulce 9.1.



**Obrázek 9.6.** Rozložení vyrobené elektřiny během roku

### ■ 9.3.2 Degradace panelů

V průběhu životnosti panelů se bude jejich účinnost a tím i množství vyrobené elektřiny snižovat. Výrobce garantuje maximální pokles výkonu na konci každého roku po dobu 25 let, jak bylo uvedeno při výběru panelu v kapitole 9.2.2. Ve svých výpočtech budu v každém roce počítat s výkonem panelů, který odpovídá právě garantované velikosti na konci daného roku. Volím tak pesimistickou variantu projektu. Dopouštím se tak pochopitelně nepřesnosti, ta je však malá (roční úbytek je po většinu doby 0,7 %).

Očekávané množství vyrobené elektřiny za těchto předpokladů je zobrazeno na obr. 9.7

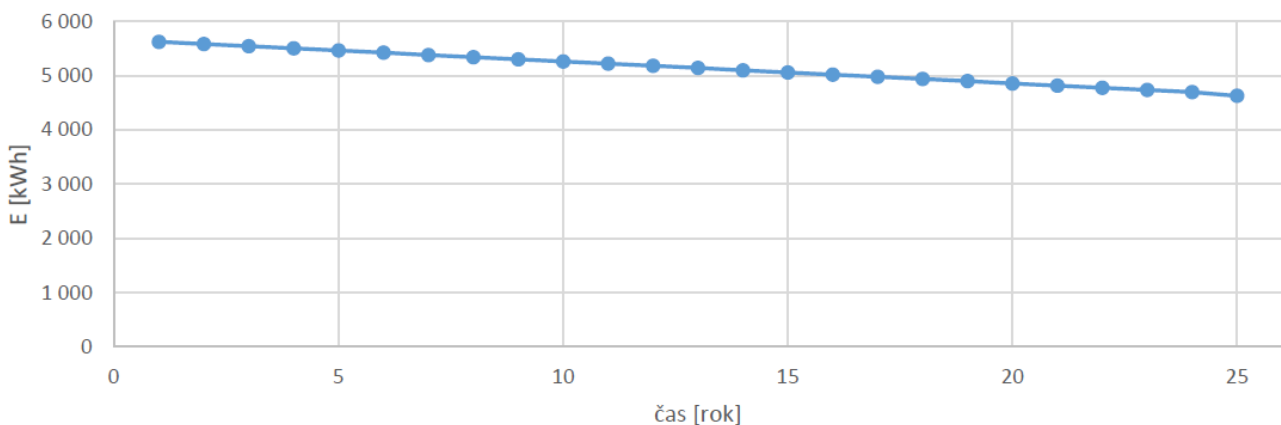
## ■ 9.4 Investiční výdaje

V následující tabulce jsou uvedeny investiční výdaje na jednotlivé prvky fotovoltaického systému. Na internetu nelze zakoupit fotovoltaickou elektrárnu o stanovených parametrech na klíč. Z tohoto důvodu jsem ocenil jednotlivé součásti dle cen různých prodejců.

měsíc	vyrobená energie [kWh]
leden	174
únor	290
březen	542
duben	695
květen	709
červen	699
červenec	700
srpen	668
září	543
říjen	399
listopad	195
prosinec	150
celkem	5764

**Tabulka 9.1.** Průměrné množství vyrobené elektřiny

### Vyrobená elektřina v jednotlivých letech



**Obrázek 9.7.** Rozložení vyrobené elektřiny po dobu životnosti

Výrobky společnosti DZ Dražice jsou uvedeny s doporučenou cenou výrobce. [36] Solární panely jsem si vybral v internetovém obchodě ifTECH. [37] Při určování ceny střešní konstrukce a elektrických prvků systému jsem vycházel z kalkulace hotového systému o instalovaném výkonu  $2 \text{ kWp}$  na fotovoltaický ohřev vody s využitím dražického systému. [38] Mnou navrhovaný fotovoltaický systém se sestává ze 3 stringů panelů, každý o výkonu  $2 \text{ kWp}$ . Domnívám se tak, že celkové výdaje na tuto položku budou v mém systému přibližně trojnásobné. Dle nabídek oslovených energetických specialistů jsem určil cenu odborného posudku. Na základě analýzy jednotlivých vzorových kalkulací malých fotovoltaických elektráren jsem cenu montáže a dopravy stanovil jako 15 % z celkových výdajů.

- V této, deváté, kapitole jsem popsal uvažovaný objekt a provedl návrh instalace FV systému na DC ohřev vody. Určil jsem konkrétní systém ohřevu vody, FV panely a i další prvky. V závěru kapitole jsem stanovil celkové výdaje na investici, které činí 307 394 Kč.

název	cena jednotky bez DPH [Kč]	počet [ks]	cena [Kč]
panel BenQ PM060P00 250 W	3 827	24	91 848
LX OKC 500 NTR/BP + LXDC SET 1-6kW	36 446	1	36 446
AC spirála TJ 6/4"- 3,3 kW	2 066	1	2 066
LXDC Power Box 1-2 kW	7 017	3	21 051
střešní konstrukce, elektrické prvky: DC kabely, přepětová ochrana, jističe DC proudu	21 931	3	65 793
doprava a práce	40 095	1	40 095
odborný posudek: projektová dokumentace a energetické hodnocení	10 000	1	10 000
celkem			267 299
celkem s DPH 15%			307 394

**Tabulka 9.2.** Výdaje na pořízení fotovoltaického systému

# Kapitola 10

## Ekonomické hodnocení

V této kapitole bude detailně popsán uvažovaný ekonomický model a identifikovány jednotlivé jeho vstupní parametry. Dále bude vyhodnocena ekonomická efektivnost a provedena citlivostní analýza významných vstupních parametrů.

### 10.1 Ekonomický model

Na uvažovaném objektu bude vystavěna fotovoltaická elektrárna tak, jak byla popsána v předchozí kapitole. Tedy off-grid instalace FV ke stejnosměrnému ohřevu vody. Tím dojde k úsporám elektřiny a uhlí, které jsou v dnešní době k ohřevu využívány. Financována bude výhradně z vlastních zdrojů, tedy bez využití půjčky. K úplnému popisu modelu je nutné identifikovat a správně stanovit výši jednotlivých příjmů a výdajů.

#### 10.1.1 Příjmy

Příjmy plynoucí z investice jsou dvojího typu. Prvním z nich jsou obdržené dotace z programu Nová zelená úsporám. Na off-grid instalaci k ohřevu vody je možné získat dotaci ve výši 35 000 Kč. Dále lze čerpat příspěvek na zpracování projektové dokumentace 5 000 Kč.

Druhým typem příjmů jsou ty spojené s provozem elektrárny. Nejde však o příjmy v pravém slova smyslu, neboť vyrobená elektřina není prodávána. Tato položka reprezentuje ušetřené finanční prostředky, které by musely být vynaloženy k ohřevu TUV, jež bude nyní ohřívána fotovoltaikou.

K ohřevu vody v objektu je využívána elektřina a uhlí. Cenu uhlí jsem stanovil na 310 Kč/q<sup>1</sup>), za kterou je možné pořídit Bílinské uhlí z Ledvic (Ořech 2) o výhřevnosti 17,6 MJ/kg, a to včetně dopravy z blízkého uhelného skladu v Pavlíkově. [39] Cena této komodity v ostatních uhelných skladech je zhruba stejná. Tuto veličinu podrobím citlivostní analýze. Míru eskalace jsem stanovil rovnu mnou uvažované inflaci, tedy 2 %.

Variabilní složka ceny elektřiny, za kterou je běžně v objektu ohřívána voda činí 1,31 Kč/kWh, jak již bylo popsáno v kapitole 9.2. Ta se sestává ze třech složek: ceny za silovou elektřinu, platby distributorovi a poplatku za systémové služby. Cena silové elektřiny, která tvoří 85 % této položky, na trhu posledních pět let klesá. To je způsobeno hlavně nárůstem dotovaných obnovitelných zdrojů energie a nefungujícím systémem emisních povolenek. Předpokládám, že ceny elektřiny se již v dnešní době pohybují blízko svého minima. Dalším poklesem by byla překročena hranice, za které jsou schopny provozu konvenční zdroje elektřiny. Dále uvažuji, že v dalším alokačním období emisních povolenek, tedy od roku 2020, bude tento systém již správně nastaven. Cena silové elektřiny bude proto do budoucna vykazovat růst. Položky tvořící momentálně zbylých 15 % ceny budou do budoucna jistě růst, tím jak budou kladeny vyšší nároky na přenosovou a distribuční síť. Tento růst bude budto realizován zvýšením stávajících zúčtovacích položek, či uvažovanou novou tarifní strukturou. Z výše zmíněných

<sup>1)</sup> Kč/q vyjadřuje cenu v korunách za metrický cent, tedy 100 kg

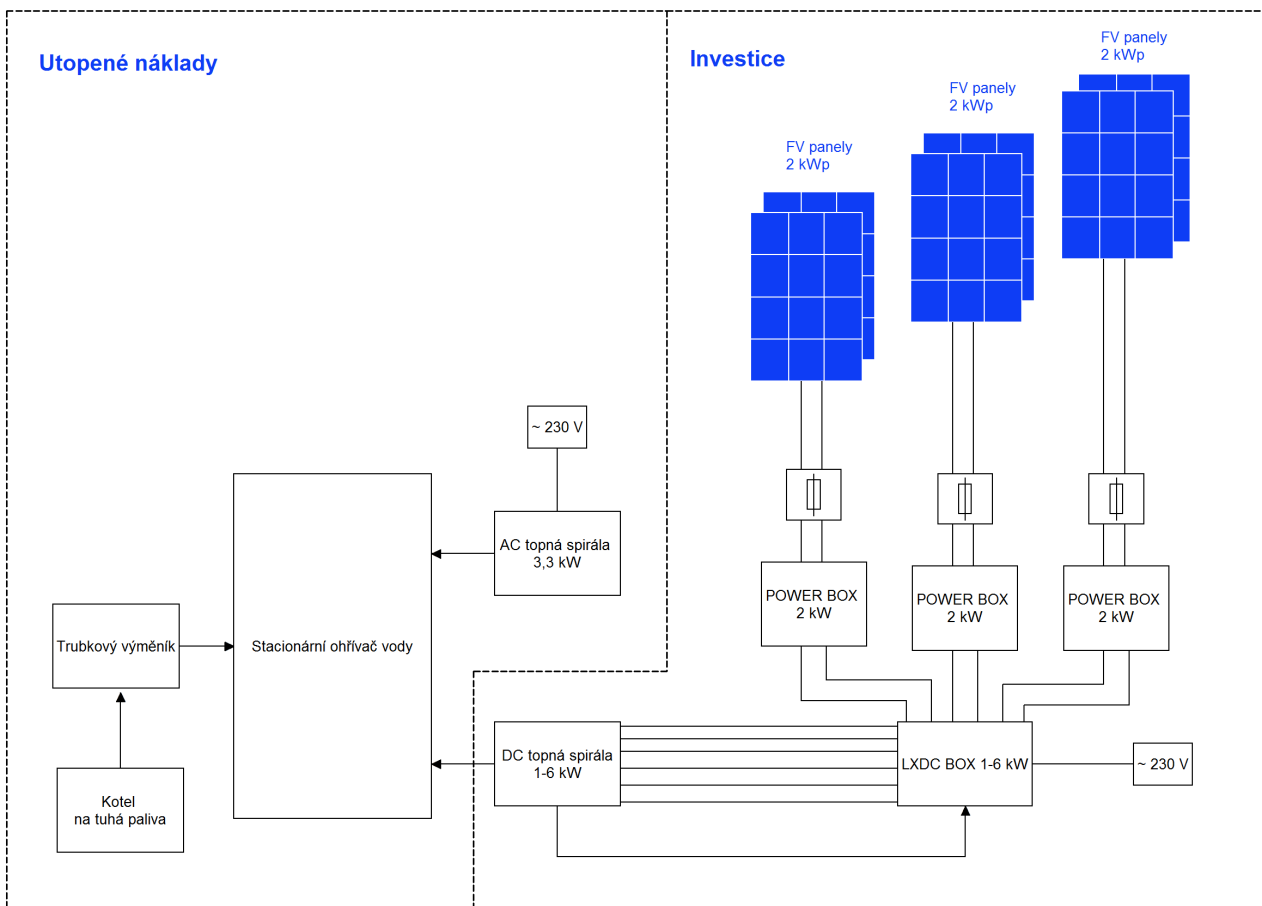


důvodů jsem proto stanovil eskalaci ceny elektřiny rovnu dlouhodobému inflačnímu cíli ČNB - 2 %. Společně s cenou elektřiny jí podrobím citlivostní analýze.

V létě bude tedy navrhovaný systém majiteli šetřit vyrobenou elektřinu, během otopného období spotřebu uhlí. Otopného období nastává dle vyhlášky MPO 194/2007 Sb. od 1. září do 31. května následujícího roku. Dodávka tepla je poté zahájena, když průměrná denní teplota venkovního vzduchu v příslušném místě poklesne pod  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve dvou po sobě následujících dnech a nelze očekávat její zvýšení v dalším dni. Počet dní, po které je nutné vytápět, se pochopitelně každoročně liší. Dle 30leté normály (1961-1990) uvedené v ČSN 38 3350 je průměrný počet otopných dnů v České republice 224. Mnou uvažované období, po které bude objekt vytápěn, je tedy vyhláškou stanovené otopné období zkrácené na délku 30leté normály (224 dní): 24. září - 6. května.

### 10.1.2 Výdaje

Do výdajů nebude uvažován celý fotovoltaický systém tak, jak byl popsán v kapitole 9. Část nákladů totiž nesouvisí přímo s pořízením fotovoltaického systému a bylo by nutné je vynaložit, i kdyby nedošlo k uvažované investici. Mezi tyto utopené náklady patří nádoba ohříváče vody a AC topná spirála. Uvažované investiční výdaje bez těchto prvků jsou poté 282 103,05 Kč. Rozdělení součástí systému, a tedy i výdajů je zobrazeno na obr. 10.1.



Obrázek 10.1. Schéma uvažovaného zapojení

Dalšími výdaji budou reinvestice. Fotovoltaické panely mají garantovaný výkon po dobu 25 let a i po této době jsou schopny provozu. Stejně dlouhou uvažují životnost i

střešní konstrukce a kabeláže. Odhadovaná životnost MPPT je 15 let. Provozu schopná doba topných tělísek velmi závisí na způsobu jejich používání, či na tvrdosti vody. Uvažované DC topná tělíska jsou suchá, keramická, z tohoto důvodu předpokládám jejich výměnu jednou za 15 let.

Jednoróčně bude potřeba provést čištění panelů. Uvažovaná cena je  $15 \text{ Kč}/\text{m}^2$ , tedy 580 Kč za celou střešní instalaci. Tato položka je uvedena spíše pro úplnost, neboť se domnívám, že většina majitelů by čištění provedla sama.

Pojištění střešní fotovoltaické elektrárny je nejčastěji realizováno v rámci pojištění samotného objektu. Je proto nutné zvýšit pojistnou hodnotu o cenu fotovoltaického systému. Dle online kalkulačky společnosti Allianz dojde k zvýšení pojistného o 482 Kč ročně. [40] Tuto částku dále indexuji o inflaci.

Revize elektrických zařízení vně budovy je dle normy ČSN 33 1500 nutné provádět každé 4 roky. Tato zákonná povinnost se však na majitele, jako fyzickou osobu, která elektřinu neprodává, nevztahuje. Přesto však s výdaji na revizi ve výši 1500 Kč počítám, neboť může posloužit jako podklad při řešení pojistné události. Výše ceny revize jsem stanovil dle nabídek oslovených revizních techniků.

Poslední uvažovanou položkou je likvidace a demontáž panelů. Za ekologickou likvidaci panelů uvedených na trh po 1. lednu 2013 zodpovídá výrobce, a tedy poplatek za tuto činnost je již obsažen v pořizovací ceně. Cenu demontáže a odvozu jsem stanovil na 13 000 Kč.

Další výdajem by mohla být spotřeba aktivních prvků fotovoltaického systému. DC Power Boxy jsou však napájeny přímo z fotovoltaických panelů a jejich spotřeba (2 W během provozu) je tak již obsažena v jejich účinnosti. Spotřebu LXDC BOXu, která činí 3,9 W, je v rámci přesnosti určení ztrát celého systému zanedbatelná, a proto nebude při výpočtu uvažována.

Všechny náklady jsou eskalovány o hodnotu uvažované diskontní míry.

Přehledný přehled všech výdajů je uveden ve výkazu cash flow v příloze C.

### ■ 10.1.3 Výsledky

Na základě výše popsáných příjmů a výdajů jsem stanovil cash flow v jednotlivých letech. Rozložení peněžních toků v čase je patrné z grafu 10.2. Na něm je velmi markantní výše prvotní investice a dále vliv periodických reinvestic. Záporný peněžní tok v posledním roce je způsoben výdaji na demontáž a odvoz FV systému.

Přesné vyčíslení jednotlivých položek výkazu peněžního toku je k dispozici v příložené tabulce Excel, či v příloze C.

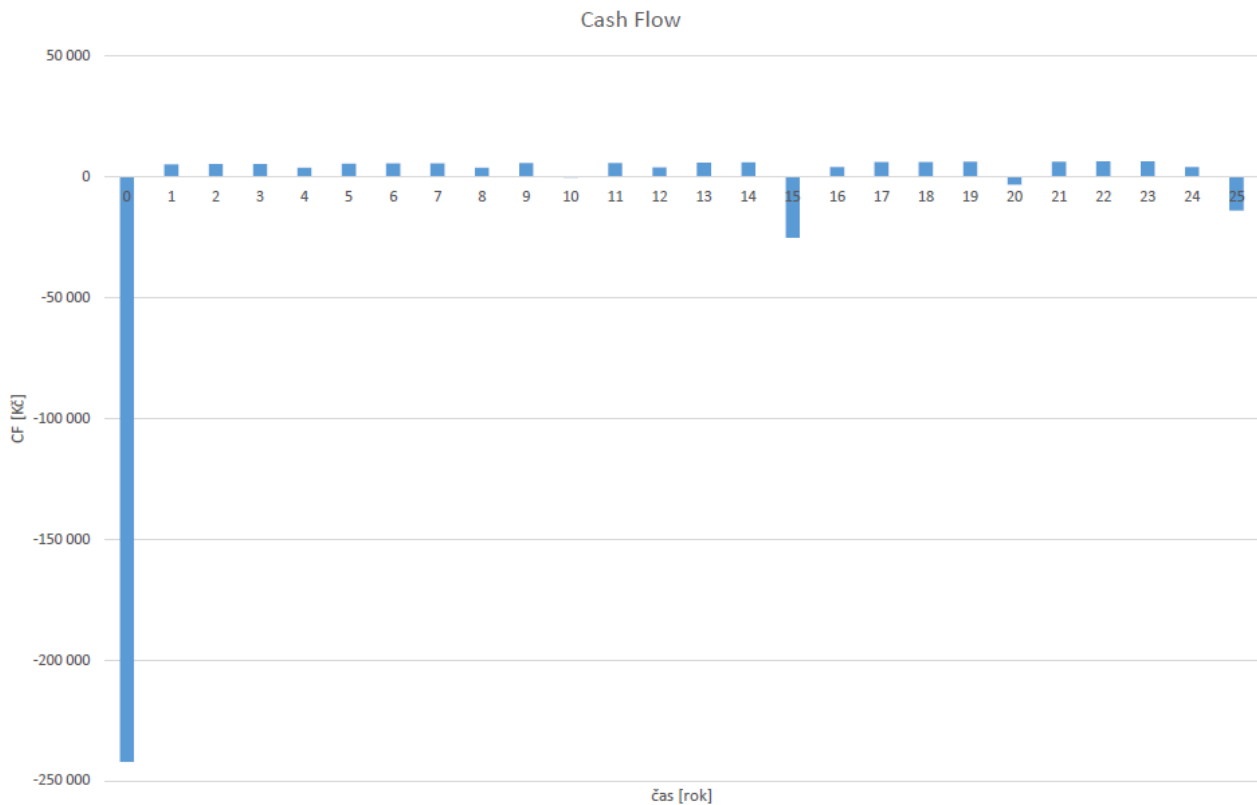
Financování celého projektu je z vlastních zdrojů majitele. Reálnou diskontní míru pro bezrizikovou investici jsem stanovil 1,5 %. Stavba FV systému pochopitelně není bezrizikovou investicí, nicméně riziko je natolik nízké, že si jej dovoluji ve svých úvahách zanedbat. Dále předpokládám, že ačkoliv je v dnešní době inflace velmi nízká, v uvažovaném 25letém horizontu bude schopna ČNB plnit své dlouhodobé inflační cíle 2 %. Nominální diskontní míra pro bezrizikovou investici je poté rovna 3,53 %. Vliv tohoto vstupního parametru bude dále analyzován pomocí citlivostní analýzy.

Výsledné charakteristické ukazatele jsou:

- $\text{NPV} = -192\,000 \text{ Kč}^1$
- $\text{IRR} = -11,97 \%$

Z obou uvedených ukazatelů je zřejmé, že při uvažovaných podmínkách a topologii systému se investice do FV systému nevyplatí.

<sup>1)</sup> Uvedený ukazatel NPV byl zaokrouhlen na tisíce, což reprezentuje přesnost, s jakou byla tato veličina stanovena.



Obrázek 10.2. Cash flow investice

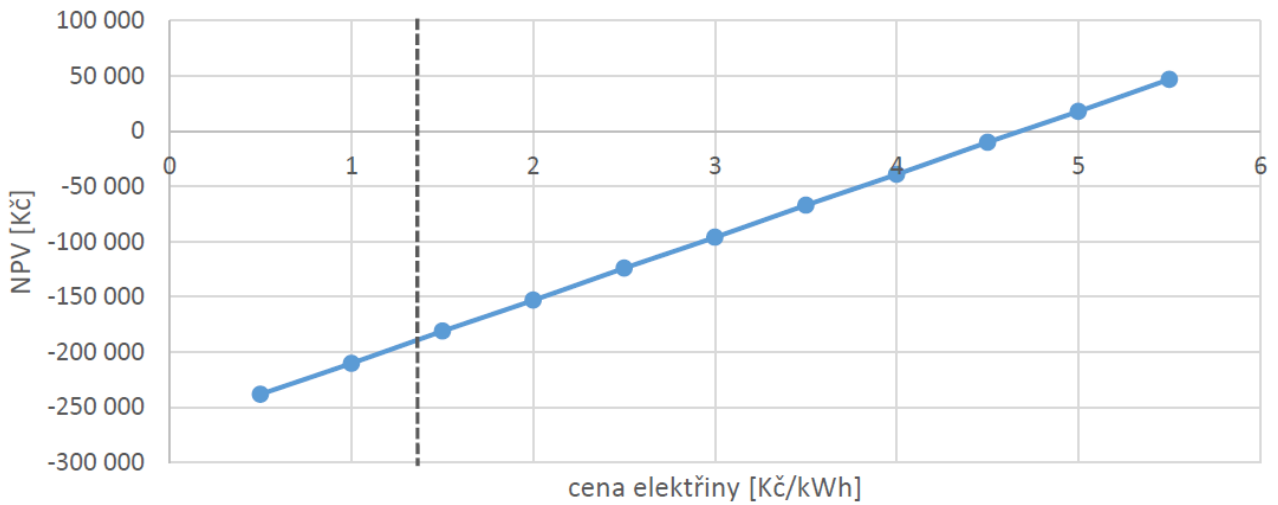
## 10.2 Citlivostní analýzy

Ze závěrů předchozí kapitoly je patrné, že NPV investice za uvažovaných vstupních podmínek vychází záporné. Proto se nyní pokusím pomocí citlivostní analýzy demonstrovat vliv významných parametrů na hodnotu současné čisté hodnoty.

### 10.2.1 Citlivostní analýza ceny elektřiny

Z citlivostní analýzy, uvedené na obr. 10.3, je zřejmé, že cena elektřiny, za kterou by se investice vyplatila, by byla  $4,69 \text{ Kč}/\text{kWh}$ . Což je 3,6-ti násobek současné ceny ( $1,31 \text{ Kč}/\text{kWh}$ ). Za povšimnutí stojí, že tato hodnota se příliš neliší od ceny elektřiny v témže objektu ve vysokém tarifu ( $3,98 \text{ Kč}/\text{kWh}$ ).

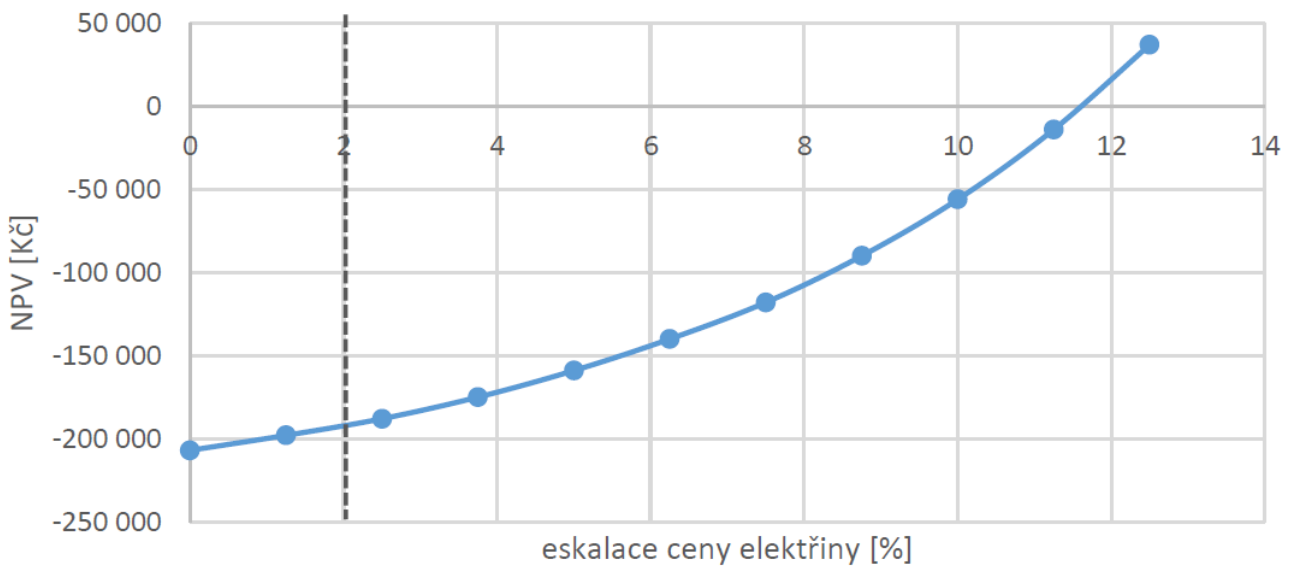
## Citlivostní analýza ceny elektřiny



Obrázek 10.3. Citlivostní analýza ceny elektřiny

### 10.2.2 Citlivostní analýza eskalace ceny elektřiny

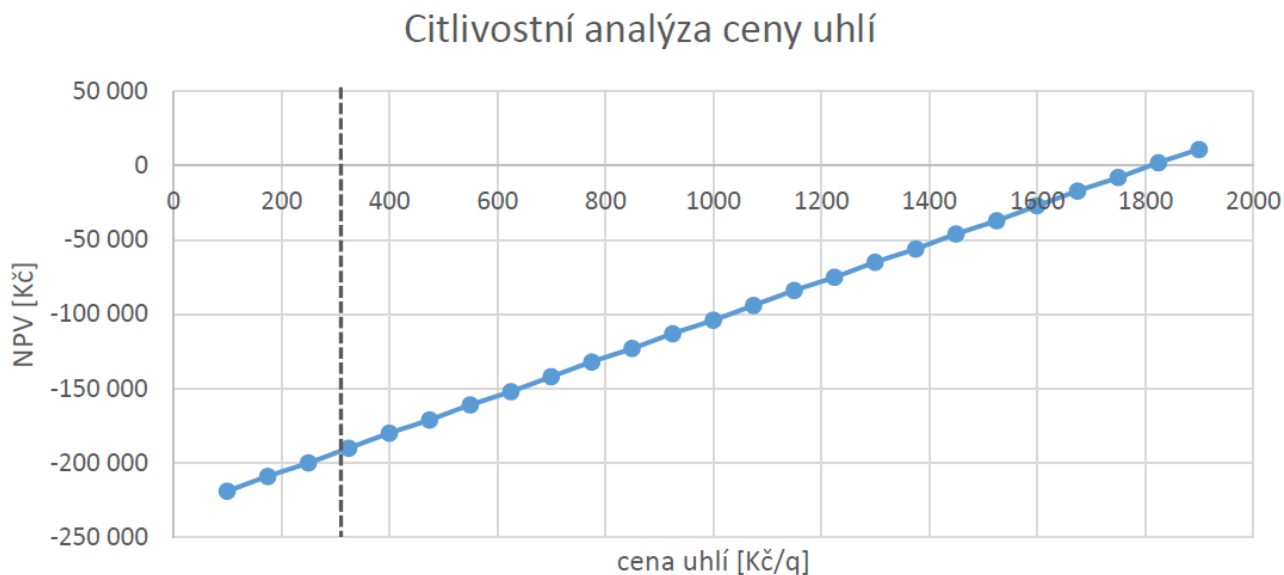
## Citlivostní analýza eskalace cen elektřiny



Obrázek 10.4. Citlivostní analýza eskalace cen elektřiny

Z grafu (obr. 10.4) je patrné, že míra eskalace nemá velký vliv na výslednou efektivnost investice. Ta by se vyplatila až při eskalaci přesahující 11 %. Taková hodnota však v reálných podmínkách nenastane.

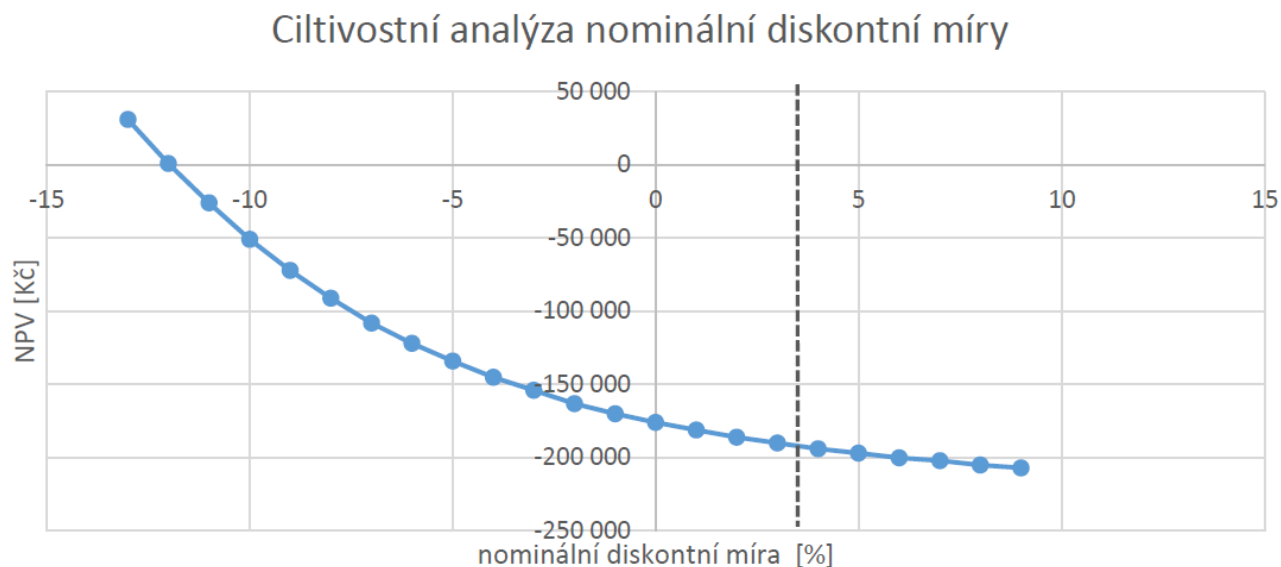
### 10.2.3 Citlivostní analýza ceny uhlí



Obrázek 10.5. Citlivostní analýza ceny uhlí

Závislost čisté současné hodnoty na ceně uhlí (obr. 10.5) je lineární stejně, jak tomu bylo i u závislosti NPV na ceně elektřiny. Vliv změny ceny je však v tomto případě nižší. Investice se vyplatí až při zvýšení současné ceny uhlí 5,8krát. To je způsobeno tím, že výroba elektřiny fotovoltaikou během topné sezony je nižší, než mimo ní, ačkoliv je topná sezóna delší.

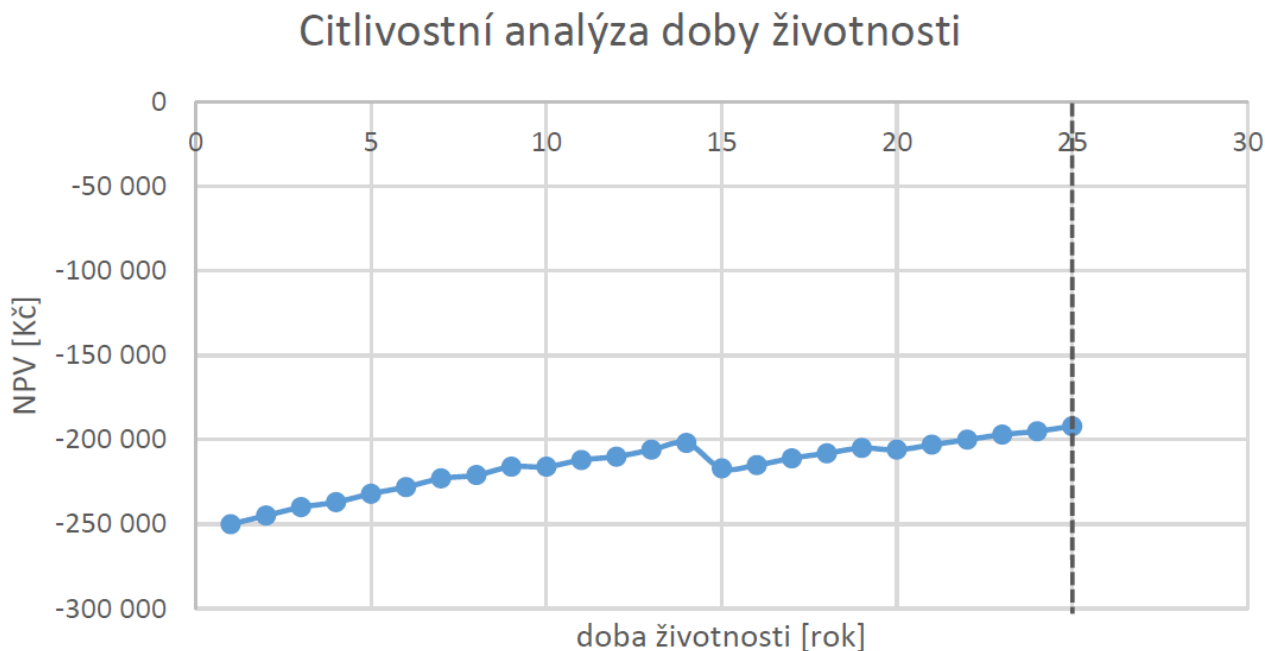
### 10.2.4 Citlivostní analýza nominální diskontní míry



Obrázek 10.6. Citlivostní analýza nominální diskontní míry

Z citlivostní analýzy (obr. 10.6) je zřejmé, že pro kladné hodnoty nominální diskontní míry se NPV příliš nemění a investice se vždy nevyplatí. Strmějšího průběhu nabývá až pro záporné hodnoty. Vnitřní výnosové procento je  $-11,97\%$ .

### 10.2.5 Citlivostní analýza doby životnosti



**Obrázek 10.7.** Citlivostní analýza doby životnosti

Průběh na tomto grafu není lineární, to je způsobeno výdaji v jednotlivých letech provozu systému. Největší pokles je patrný v patnáctém roce, kdy jsou nakoupeny MPPT. Přesto je ekonomicky optimální provozovat celý systém až po maximální uvažovanou dobu, po kterou je garantovaný výkon panelů. Čistá současná hodnota po 25 letech je  $-192\ 000\ Kč$ .

- Dle ekonomických ukazatelů NPV a IRR se uvažovaná investice nevyplatí. Dále byla pomocí citlivostních analýz sledována závislost NPV na význačných vstupních parametrech. Ukázalo se, že investice do navrhovaného systému se nevyplatí, ani při velkých změnách vstupních veličin.

# Kapitola 11

## Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo zjistit, zda se v dnešní době vyplatí investice do výstavby malé fotovoltaické elektrárny. A to z toho důvodu, že se názory na tuto otázku v dnešní době velmi různí. Za tímto účel jsem navrhl ekonomicky optimální fotovoltaický systém na střechu konkrétního rodinného domu.

K tomu, aby bylo možné vytvořit optimální návrh, bylo zapotřebí nejdříve analyzovat způsob přeměny sluneční energie na elektrickou a také všechny faktory, kterou tuto přeměnu ovlivňují. Mezi v návrhu neovlivnitelné fyzikální parametry patří například lokalita výstavby, teplota FV článků, či budoucí atmosférické podmínky. Naproti tomu sklon a orientaci panelů je nutné nastavit tak, aby odpovídaly ideálním hodnotám.

Dále byly analyzovány dostupné technologie panelů a dalších prvků FV systémů. Při tom nebyl kladen důraz pouze na principiální popis funkce jednotlivých zařízení, ale i na aktuální stav vývoje.

V neposlední řadě bylo nutné identifikovat i ekonomické parametry, které ovlivňují volbu typu systému. Těmi jsou jednak státní dotace, za druhé ceny jednotlivých vstupních a výstupních veličin.

V druhé části práce jsem na základě analýzy dostupných technologií a charakteristik objektu identifikoval ekonomicky optimální variantu fotovoltaického systému: off-grid instalace fotovoltaiky k DC ohřevu vody.

Pomocí ekonomických ukazatelů čisté současné hodnoty a vnitřního výnosového procenta jsem ohodnotil navržený fotovoltaický systém. Dle obou parametrů se investice do tohoto projektu nevyplatí. Výsledné NPV =  $-192\ 000\ Kč$  a IRR =  $-11,97\ %$ . Pomocí citlivostní analýzy jsem zhodnotil vliv význačných vstupních veličin na efektivnost. Ukázalo se, že investice se ani při velkých změnách vstupních veličin nevyplatí a to ačkoliv byl celý FV systém v této práci navržen tak, aby byl z ekonomického hlediska optimální.

Zobecněním výsledku svého návrhu si tak dovoluji tvrdit, že se v dnešní době v České republice nevyplatí investice do výstavby malé fotovoltaické elektrárny. Důvodů, proč tomu tak je, může být několik:

Za prvé, hlavním důvodem špatné rentability investice do fotovoltaiky je nízká cena silové elektřiny. Je paradoxem, že ta je právě z velké části způsobena velkým rozvojem dotovaných obnovitelných zdrojů. Citlivostní analýza mého projektu ukázala nutnost zvýšení ceny elektřiny na 3,5násobek současné ceny, aby čistá současná hodnota dosahovala nulové hodnoty. To bylo v minulosti řešeno státní podporou ve formě garantované výkupní ceny.

Za druhé, v dnešní době nabízená investiční podpora v rámci projektu Nová zelená úsporám nemá znatelný vliv na efektivnost. Získání dotace  $35\ 000\ Kč$  je podmíněno instalací MPPT, jehož cena je zhruba ve stejné výši. Dále je nutné nechat si vypracovat projektovou dokumentaci, na kterou je možné získat taktéž dotaci, která však nepokryje její cenu.

## Literatura

- [1] HABERLIN, Heinrich a Herbert EPEL. Photovoltaics: system design and practice [online]. Hoboken, N.J.: Wiley, 2012, xxix, 701 p. [cit. 2015-10-21]. ISBN 9781119992851. Dostupné z:  
<http://80.site.ebrary.com/dialog/cvut.cz/lib/cvut/detail.action?docID=10526535&p00=photovoltaics%3A+system+design+practice>
- [2] MATUŠKA, Tomáš. Solární zařízení v příkladech. 1. vyd. Praha: Grada, 2013, 254 s. Stavitel. ISBN 9788024735252.
- [3] Spektrum slunečního záření. Micronix [online]. [cit. 2015-10-24]. Dostupné z:  
[http://www.micronix.cz/data/cz/upload\\_fck/image/solarix/spektrum.png](http://www.micronix.cz/data/cz/upload_fck/image/solarix/spektrum.png)
- [4] Globální horizontální záření. SolarGIS [online]. GeoModel Solar, 2015 [cit. 2015-10-23]. Dostupné z:  
[http://solargis.info/doc/\\_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Czech-Republic-cz.png](http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Czech-Republic-cz.png)
- [5] MESSENGER, Roger A a Jerry VENTRE. Photovoltaic systems engineering. 3rd ed. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis, c2010, xxiii, 503 p. ISBN 1439802920.
- [6] ASOWATA, Osamede, James SWART a Christo PIENAAR. Evaluating the effect of orientation angles on the output power of a stationary photovoltaic panel. Journal of Renewable & Sustainable Energy [online]. 2014, 6(4) [cit. 2015-10-21]. DOI: 10.1063/1.4892068. ISBN 10.1063/1.4892068. Dostupné z:  
<http://scitation.aip.org/content/aip/journal/jrse/6/4/10.1063/1.4892068>
- [7] GREEN, Martin A., Keith EMERY, Yoshihiro HISHIKAWA, Wilhelm WARTA a Ewan D. DUNLOP. Solar cell efficiency tables (version 46). Progress in Photovoltaics [online]. 2015, 23(7) [cit. 2015-10-21]. DOI: 10.1002/pip.2637. ISBN 10.1002/pip.2637. Dostupné z:  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pip.2637/abstract;jsessionid=AF17387FF38A2EE69A80E950CF706DEC.f02t03>
- [8] FAN, Shanhui. Photovoltaics: An alternative 'Sun' for solar cells. Nature Nanotechnology [online]. 2014, 9(2) [cit. 2015-10-21]. DOI: 10.1038/nnano.2014.9. ISBN 10.1038/nnano.2014.9. Dostupné z:  
<http://www.nature.com/doi/10.1038/nnano.2014.9>
- [9] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. Fotovoltaika, elektřina ze slunce. 1. vyd. Brno: ERA, 2007, vii, 81 s. 21. století. ISBN 9788073661007.
- [10] SONTAKKE, Mayur. The changing cost structure of solar photovoltaic manufacturing. Market Realist [online]. 2015 [cit. 2015-11-04]. Dostupné z:  
<http://marketrealist.com/2015/02/changing-cost-structure-solar-photovoltaic-manufacturing/>
- [11] ELMES, Stuart. What's the difference between polycrystalline and monocrystalline solar panels? You Gen: Energy made easy [online]. 2015 [cit. 2015-11-04].



- Dostupné z:  
<http://www.yougen.co.uk/blog-entry/2521/What%27s+the+difference+between+polycrystalline+and+monocrystalline+solar+panels%3F/>
- [12] MULLIGAN, Cara J., Chhinder BILEN, Xiaojing ZHOU, Warwick J. BELCHER a Paul C. DASTOOR. Levelised cost of electricity for organic photovoltaics. *Solar Energy Materials and Solar Cells* [online]. 2015, (133) [cit. 2015-10-25]. DOI: 10.1016/j.solmat.2014.10.043. ISBN 10.1016/j.solmat.2014.10.043. Dostupné z:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024814005741>
- [13] URBAN SOLAR. Photovoltaic panel. From raw silicon to electricity - how the panels are made [online]. 2010 [cit. 2015-10-31]. Dostupné z:  
<http://www.urbansolar.org.uk/images/panels/solar-cells3.jpg>
- [14] SUNNY BOY 3600 / 5000 SMART ENERGY: Data sheet. SMA [online]. 2014 [cit. 2015-11-08]. Dostupné z:  
<http://files.sma.de/dl/21567/SB5000SE-DEN1441web.pdf>
- [15] TSE, Edmund. Inverter. Flickr [online]. 2010 [cit. 2015-11-06]. Dostupné z:  
<https://www.flickr.com/photos/tseedmund/4690320421/in/photostream/>
- [16] WATTRouter M - uživatelská příručka: Návod k instalaci a nastavení přístroje. Solar Controls s.r.o. [online]. 2015 [cit. 2015-11-04]. Dostupné z:  
[http://www.solarcontrols.cz/archives/eshop/WATTRouterM\\_CZ.pdf](http://www.solarcontrols.cz/archives/eshop/WATTRouterM_CZ.pdf)
- [17] Regulátory WATTRouter a příslušenství. Solar Controls s.r.o. [online]. 2015 [cit. 2015-11-04]. Dostupné z:  
[http://www.solarcontrols.cz/cz/shop\\_wattrouter.html](http://www.solarcontrols.cz/cz/shop_wattrouter.html)
- [18] SOLARNINOVINKY.CZ. Pohled expertů na současný legislativní rámec při budování nových ostrovních a hybridních FVE na budovách. In: , SolarniNovinky.cz. Solární novinky [online]. 2015 [cit. 2015-10-28]. Dostupné z:  
<http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2015031602/pohled-expertu-na-soucasny-legislativni-ramec-pri-budovani-novych-ostrovnich-a-hybridnich-fve-na-budovach-18-03-2015&rw=ADMTZ123&rt=hybridn%C3%AD#.VjDzbG7sang>
- [19] BREALEY, Richard A, Stewart C MYERS a Franklin ALLEN. *Teorie a praxe firemních financí. 2., aktualiz. vyd. Překlad Vladimír Golik, Zdeněk Mužík, Liběna Stiebitzová.* Brno: BizBooks, 2014. ISBN 978-80-265-0028-5.
- [20] Často kladené dotazy. Energetický regulační úřad [online]. 2015 [cit. 2015-10-30]. Dostupné z:  
<http://www.eru.cz/cs/poze/casto-kladene-dotazy>
- [21] Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. In: 165/2012 Sb. 2012.
- [22] NOVAZELENAUSPORAM.CZ. Nová zelená úsporám: Startuje kontinuální výzva, poběží do roku 2021. Domácnosti si sáhnou až na 27 miliard korun. Nová zelená úsporám [online]. 2015 [cit. 2015-10-29]. Dostupné z:  
<http://www.novazelenausporam.cz/clanek/nova-zelena-usporam-startuje-kontinualni-vyzva-pobezi-do-roku-2021-domacnosti-si-sahnou-az-na-27-miliard-korun/>
- [23] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory z podprogramu Nová zelená úsporám rodinné domy v rámci 3. výzvy k podávání žádostí. Nová zelená úsporám [online]. 2015 [cit. 2015-10-29]. Dostupné z:

- [http://www.novazelenausporam.cz/file/476/zavazne-pokyny-pro-zadatele-rd\\_3\\_vyzva.pdf](http://www.novazelenausporam.cz/file/476/zavazne-pokyny-pro-zadatele-rd_3_vyzva.pdf)
- [24] Mapa objektu. Mapy.cz [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://mapy.cz/s/mFUz>
- [25] Ceník elektřiny ČEZ prodej: produkt COMFORT, včetně regulovaných cen za dopravu elektřiny, účinnost od 1. 1. 2016. Skupina ČEZ [online]. 2015 [cit. 2015-12-05]. Dostupné z: [https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2016/cez\\_cz\\_ele\\_cenikmoo\\_2016-01-01\\_comfort.pdf](https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2016/cez_cz_ele_cenikmoo_2016-01-01_comfort.pdf)
- [26] Samovýrobci do 30 kW. Amper Market [online]. Amper Market, 2016 [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: <http://www.ampermarket.cz/samovyrobci-do-30kwp>
- [27] UNITES SYSTEMS A.S. SOLAR KERBEROS 250.S: Data Sheet [online]. In: . s. 2 [cit. 2016-02-24]. Dostupné z: [http://www.obchodsolar.cz/fotky13919/fotov/\\_ps\\_554data-sheet-solar-kerberos-250s-20140523-cz.pdf](http://www.obchodsolar.cz/fotky13919/fotov/_ps_554data-sheet-solar-kerberos-250s-20140523-cz.pdf)
- [28] LX\_NTRR\_kotel-Model. DZ Dražice [online]. Družstevní závody Dražice-strojárna s.r.o., 2014 [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: [http://www.dzd-fv.cz/images/nove\\_obrazky/Stacionarni\\_ohrivace/LX\\_NTRR\\_kotel-Model.png](http://www.dzd-fv.cz/images/nove_obrazky/Stacionarni_ohrivace/LX_NTRR_kotel-Model.png)
- [29] BENQ SOLAR. Green Triplex PM060P00: Datasheet [online]. In: . 2015, s. 2 [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: [http://www.benqsolar.com/download.php?file=.%2Fupload%2Fmedia%2Fbenqsolarfile%2Fdatasheet%2FGT-PM060P00\\_ds\\_fb\\_en.pdf](http://www.benqsolar.com/download.php?file=.%2Fupload%2Fmedia%2Fbenqsolarfile%2Fdatasheet%2FGT-PM060P00_ds_fb_en.pdf)
- [30] PRAŽSKÁ ENERGETIKA, A. S. Potřebná velikost bojleru: Internetová kalkulačka [online]. In: . [cit. 2016-02-24]. Dostupné z: <https://www.premereni.cz/cs/dulezite-informace/kalkulacky-energie/ohrev-vody/potrebna-velikost-bojleru/>
- [31] ČSN 06 0320: Tepelné soustavy v budovách - Příprava teplé vody - Navrhování a projektování. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.
- [32] ČSN EN 15316-3-1. Tepelné soustavy v budovách - Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinností soustavy: Část 3-1: Soustavy teplé vody, charakteristiky potřeb (požadavky na odběr vody). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [33] Vyhláška č. 193/2007 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu. In: . Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2007. Dostupné také z: <http://www.mpo.cz/dokument38872.html>
- [34] LX\_NTR-Model. Družstevní závody Dražice [online]. Družstevní závody Dražice-strojárna s.r.o., 2014 [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://www.dzd-fv.cz/cs/sortiment/stacionarni-ohrivace>
- [35] Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) [online]. European Commission, Joint Research Centre, 2016 [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>

- 
- [36] DRUŽSTEVNÍ ZÁVODY DRAŽICE-STROJÍRNA S.R.O. Ceník: FOTOVOLTAICKÉ OHŘÍVAČE A AKUMULAČNÍ NÁDRŽE (platnost cen od 1.3.2015) [online]. In: . 2015 [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://www.dzd-fv.cz/cs/cenik>
- [37] Solární panel BENQ 250Wp POLY černý rám. IfTECH [online]. ifTECH s.r.o., 2016 [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://shop.iftech.cz/index.php/solarni-panel-benq-250wp-poly-p840>
- [38] Fotovoltaický ohříváč LX ACDC/M+K ABC 200, set. SVP Solar [online]. SVP Solar s.r.o., 2016 [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://www.solar-eshop.cz/p/fotovoltacky-ohrivac-lx-acdc-m-k-abc-200-set/>
- [39] Ceník - Palivo Pavlíkov. Palivo Pvlíkov [online]. 2016 [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: <http://www.palivopavlikov.cz/cenik/>
- [40] Kalkulace pojištění majetku a budovy. Allianz [online]. 2016 [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: <https://online.allianz.cz/web/pojisteni-majetku-a-odpovednosti/?825352901>
- [41] ŠEFČÍKOVÁ, Kateřina. Pohled jižní: Rodinný dům Třtice 136 [1:50]. [1:50]. 2014.



# Příloha A

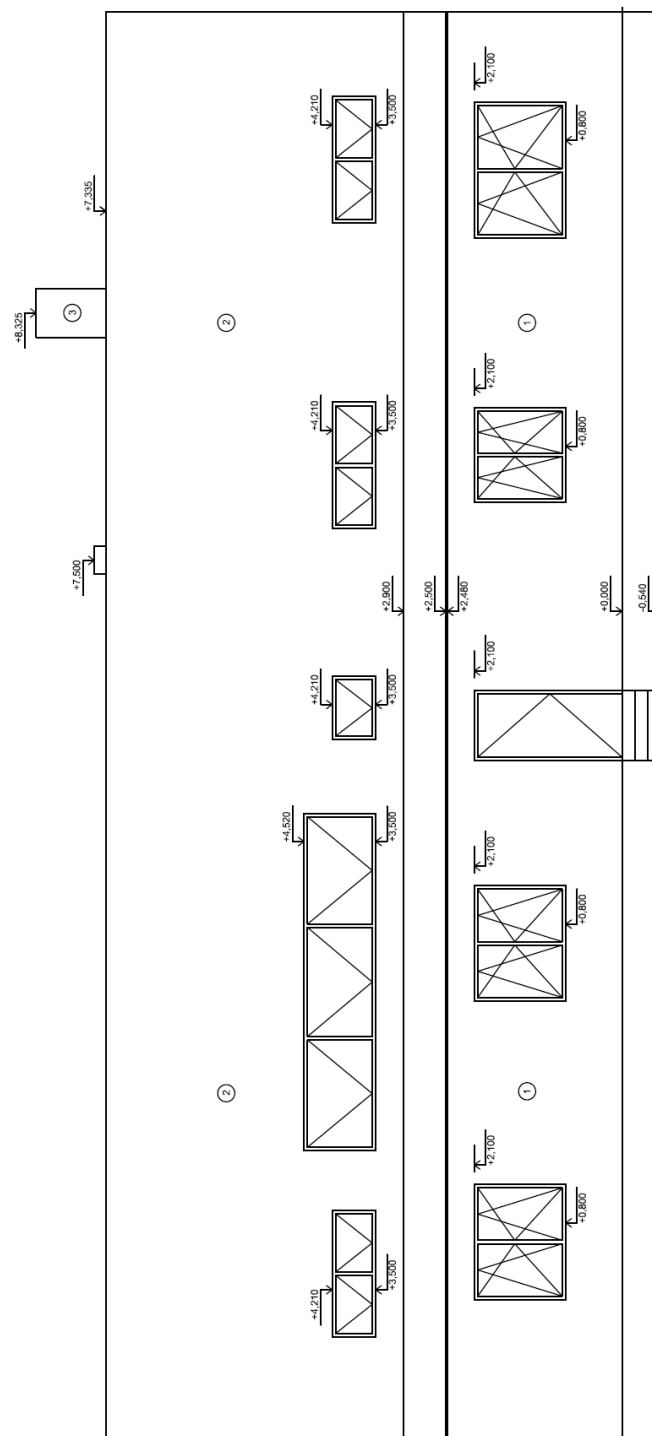
## Seznam použitých zkratk

AM	Air Mass
AC	střídavý proud
CF	Cash Flow
ČNB	Česká národní banka
ČR	Česká republika
DC	stejnoseměrný proud
ERÚ	Energetický regulační úřad
EVA	ethylenvinyl acetátový kopolymer
FV článek	fotovoltaický článek
FV panel	fotovoltaický panel
FVE	fotovoltaická elektrárna
IRR	vnitřní výnosové procento
kWp	kilowatt peak
LXDC BOX	firemní označení watt routeru od společnosti DZ Dražice
LXDC Power Box	firemní označení MPPT od DZ Dražice
LXDC SET	firemní označení pro komplet ohřívače vody a LXDC BOXu od DZ
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MPPT	Maximum Power Point Tracker
NPV	čistá současná hodnota
PB	pracovní bod
PP	prostá doba návratnosti
PRE	Pražská energetika, a.s.
PVGIS	geografický informační systém
TUV	teplá užitková voda
VA charakteristika	volt-ampérová charakteristika



# Příloha B

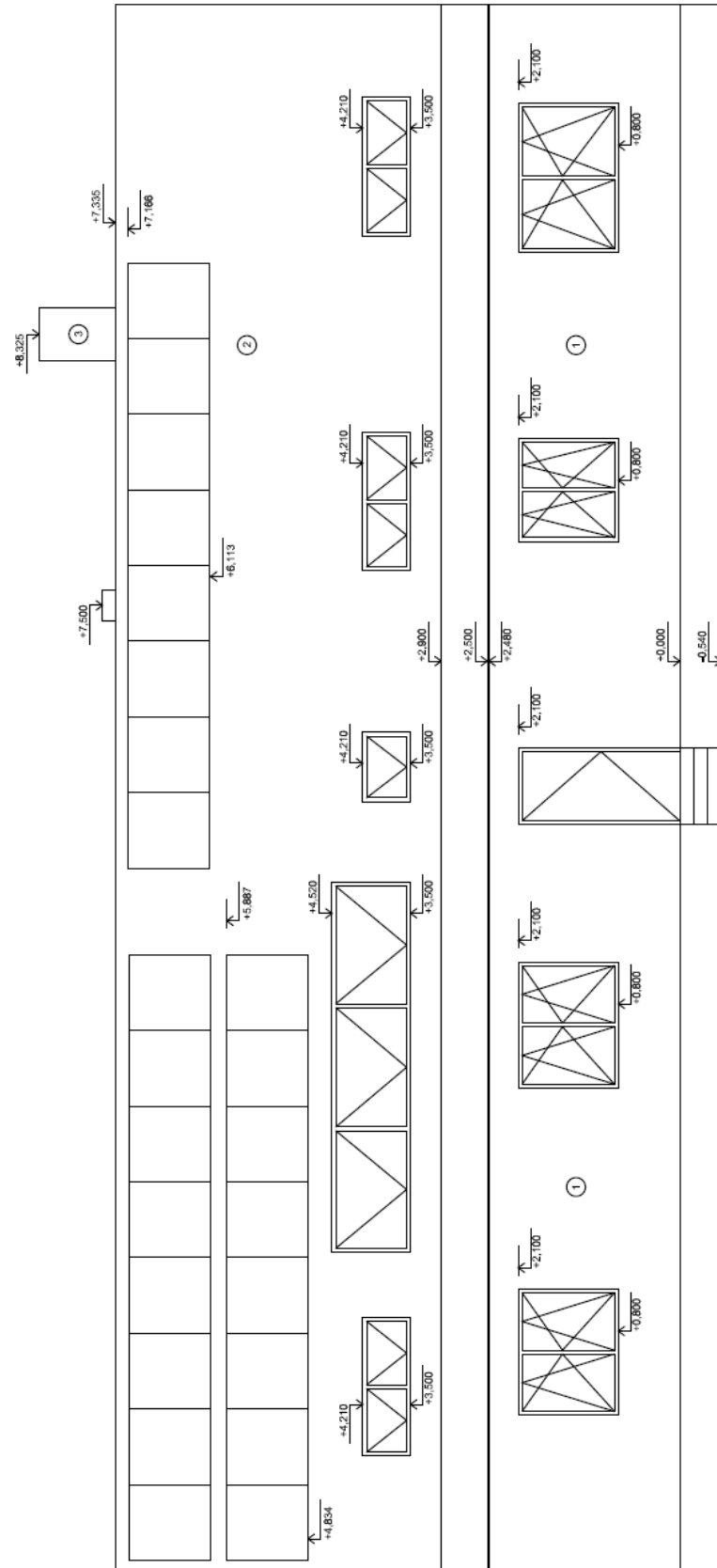
## Technická dokumentace objektu



Pohled na objekt z jihu (bez fotovoltaiky) [41]







Pohled na objekt z jihu, s navrženým rozložením panelů



# Příloha C

## Cash flow

Rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>1) Příjmy</b>											
Dotace	40 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ušetřené výdaje za elektřinu	0	3 998	4 048	4 100	4 151	4 203	4 255	4 308	4 361	4 415	4 469
Ušetřené výdaje za uhlí	0	2 125	2 152	2 179	2 206	2 234	2 262	2 290	2 318	2 346	2 375
<b>Příjmy celkem</b>	<b>40 000</b>	<b>6 122</b>	<b>6 200</b>	<b>6 278</b>	<b>6 357</b>	<b>6 437</b>	<b>6 517</b>	<b>6 598</b>	<b>6 679</b>	<b>6 761</b>	<b>6 844</b>
<b>2) Výdaje</b>											
Investiční výdaje	282 103	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reinvestice	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5 965
Čištění	0	592	603	616	628	640	653	666	680	693	707
Pojištění	0	492	501	512	522	532	543	554	565	576	588
Revize	0	0	0	0	1 624	0	0	0	1 757	0	0
Demontáž	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Výdaje celkem</b>	<b>282 103</b>	<b>1 083</b>	<b>1 105</b>	<b>1 127</b>	<b>2 773</b>	<b>1 173</b>	<b>1 196</b>	<b>1 220</b>	<b>3 002</b>	<b>1 269</b>	<b>7 259</b>
<b>Cash Flow</b>	<b>-242 103</b>	<b>5 039</b>	<b>5 095</b>	<b>5 151</b>	<b>3 584</b>	<b>5 264</b>	<b>5 321</b>	<b>5 378</b>	<b>3 678</b>	<b>5 492</b>	<b>-415</b>



Rok	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1) Příjmy															
Dotace	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ušetřené výdaje za elektřinu	4 523	4 578	4 633	4 689	4 745	4 801	4 858	4 915	4 972	5 030	5 087	5 146	5 204	5 263	5 289
Ušetřené výdaje za uhlí	2 404	2 433	2 462	2 492	2 522	2 552	2 582	2 612	2 642	2 673	2 704	2 735	2 766	2 797	2 811
Příjmy celkem	6 927	7 011	7 096	7 181	7 266	7 353	7 439	7 527	7 614	7 703	7 791	7 880	7 970	8 060	8 100
2) Výdaje															
Investiční výdaje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reinvestice	0	0	0	0	31 050	0	0	0	0	7 271	0	0	0	0	0
Čištění	721	736	750	765	781	796	812	828	845	862	879	897	915	933	0
Pojištění	599	611	624	636	649	662	675	688	702	716	731	745	760	775	791
Revize	0	1 902	0	0	0	2 059	0	0	0	2 229	0	0	0	2 413	0
Demontáž	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21 328
Výdaje celkem	1 320	3 249	1 374	1 401	32 480	3 517	1 487	1 517	1 547	11 078	1 610	1 642	1 675	4 121	22 119
Cash Flow	5 607	3 762	5 722	5 780	-25 213	3 836	5 952	6 010	6 067	-3 375	6 182	6 239	6 295	3 939	-14 018

