

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Návrh energetiky rodinného domu s fotovoltaickým  
systémem pro maximální pokrytí spotřeby elektřiny**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Václav FRÉLICH**

Osobní číslo: **E16N0084P**

Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Technická ekologie**

Název tématu: **Návrh energetiky rodinného domu s fotovoltaickým systémem pro maximální pokrytí spotřeby elektřiny**

Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Uveďte různé typy fotovoltaických systémů, jejich zapojení a použití.
2. Analyzujte a vyhodnoťte možnosti snížení spotřeby elektřiny v projektu rodinného domu.
3. Navrhněte FV systém na pokrytí spotřeby elektřiny včetně akumulace elektřiny.
4. Vyhodnoťte celkovou spotřebu elektřiny a podíl neobnovitelné energie dodané do domu.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

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

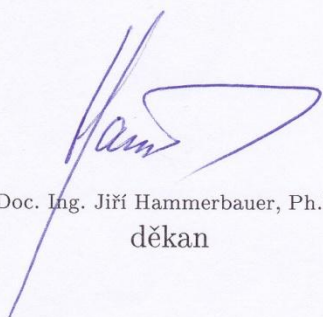
Vedoucí diplomové práce:

**Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.**

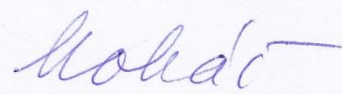
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **10. října 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2018**



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



Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

## **Abstrakt**

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na návrh fotovoltaického systému pro rodinný dům včetně akumulace energie do akumulátorů. Fotovoltaický systém je navržen tak, aby bylo zamezeno přetokům vyrobené elektrické energie do distribuční sítě. V diplomové práci jsou uvedeny jednotlivé komponenty fotovoltaického systému a je zde uvedený podíl obnovitelné energie dodávané do domu fotovoltaickým systémem.

## **Klíčová slova**

Fotovoltaické články, fotovoltaické panely, fotovoltaický systém, střídač, akumulátor, svodič přepětí

## **Abstract**

This master thesis is focused on the design of a photovoltaic system for a family house which including the accumulation of energy in accumulators. The photovoltaic system is designed for the optimal amount of electricity and none overflow of electricity into the distribution grid. The master thesis presents the individual components of the system and the amount of renewable energy supplied to the house by a photovoltaic system.

## **Key words**

Photovoltaic cells, photovoltaic panels, photovoltaic system, inverter, accumulator, surge arrester

## Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 16.5.2018

Bc. Václav Frélich

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat panu Prof. Ing. Janu Škorpilovi, Csc. za cenné rady a odborné vedení této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat mému konzultantovi panu Václavu Švábovi za ochotu a čas, který mi věnoval. Zároveň děkuji své rodině za poskytnutí psychické a finanční podpory během celého studia.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>11</b>
<b>1 FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY</b> .....	<b>12</b>
1.1 PRVNÍ GENERACE FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ.....	12
1.1.1 Monokrystalické články.....	12
1.2 DRUHÁ GENERACE FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ.....	13
1.2.1 Polykrystalické křemíkové články.....	13
1.2.2 Amorfni křemíkové články.....	13
1.2.3 Mikrokřemíkové články.....	14
1.2.4 Články CIS.....	14
1.3 TŘETÍ GENERACE FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ.....	14
1.4 ČTVRTÁ GENERACE FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ.....	14
<b>2 TYPY FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ</b> .....	<b>15</b>
2.1 DROBNÉ APLIKACE.....	15
2.2 OSTROVNÍ FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY (GRID-OFF).....	15
2.2.1 Systémy s přímým napájením.....	15
2.2.2 Hybridní ostrovní systémy.....	16
2.2.3 Ostrovní solární systém s akumulací elektrické energie.....	17
2.3 SÍŤOVÉ SYSTÉMY (GRID-CONNECTED).....	20
2.3.1 FV systém bez akumulace energie připojený k síti.....	20
2.3.2 FV systém s akumulací energie do akumulátoru připojený k síti.....	22
<b>3 VYUŽITÍ FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ V ČR</b> .....	<b>24</b>
3.1 LEGISLATIVA.....	25
DŮLEŽITÉ PRÁVNÍ PŘEDPISY A ZÁKONY.....	26
3.1.1 Přehled podmínek připojení systémů.....	27
3.2 FINANČNÍ NÁSTROJE PODPORY V ČR.....	27
3.3 ZELENÉ BONUSY A VÝKUPNÍ CENY.....	28
3.3.1 Zelené bonusy.....	28
3.3.2 Výkupní ceny.....	28
3.4 DOTAČNÍ TITULY V ČR.....	29
3.5 EKOLOGIE A ŽIVOTNOST.....	30
<b>4 ANALÝZA A VYHODNOCENÍ MOŽNOSTÍ SNÍŽENÍ SPOTŘEBY ELEKTRINY</b> .....	<b>32</b>
<b>5 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU</b> .....	<b>36</b>
5.1 POPIS BUDOVY.....	37
5.2 ENERGETICKÝ POTENCIÁL BUDOVY.....	38
5.3 KOMPONENTY FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU.....	40
5.3.1 Fotovoltaické panely.....	40
5.3.2 Střídač.....	43
5.3.3 Fronius Smart Meter.....	44
5.3.4 Akumulace energie.....	45
5.3.5 Svodiče přepětí.....	46
5.4 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	47
<b>6 PODÍL OBNOVITELNÉ ENERGIE DODANÉ DO DOMU</b> .....	<b>50</b>
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>53</b>



---

**SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ..... 54**

## Úvod

V současné době stále více roste poptávka po elektrické energii. Tento trend se z důvodu zvyšování životní úrovně obyvatel do budoucna bude nadále navyšovat. Nyní je obyvatelstvo závislé na produkci elektrické energie převážně z fosilních paliv a ze štěpení jader. Největší naděje do budoucnosti energetiky se vkládají do jaderné fúze a do obnovitelných zdrojů energie, především z důvodu obav z vyčerpání neobnovitelných zdrojů energie. V budoucnu by elektrická energie získaná ze sluneční energie mohla být cestou pro uspokojení energetických potřeb.

Sluneční energii dopadající na zemský povrch je možné transformovat na elektrickou energii pomocí fotovoltaických panelů. Současná technologie fotovoltaických článků však prozatím neumožňuje efektivně přeměňovat sluneční energii na elektrickou. V letech 2009 a 2010 za finančních příspěvků státu v České republice proběhl největší rozvoj fotovoltaických systémů. Tento rychlý rozvoj také vedl ke zvýšení ohrožení stability energetické sítě. Tomuto negativnímu vlivu na energetickou síť se může zabránit vhodnou akumulací elektrické energie.

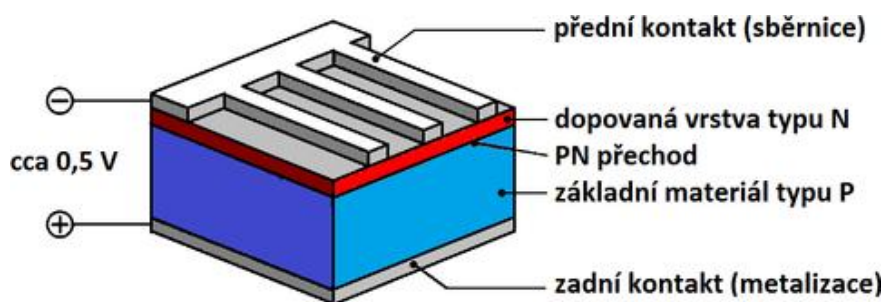
Tato diplomová práce se bude zabývat návrhem fotovoltaického systému pro rodinný dům včetně akumulace elektrické energie. Cílem je navrhnout komponenty tak, aby fotovoltaický systém z velké části pokryl spotřebu elektřiny. Práce bude obsahovat vyhodnocení podílu množství dodané energie z obnovitelného zdroje do rodinného domu.

## Seznam symbolů a zkratk

AC .....	Alternating current
ČHMÚ .....	Český hydrometeorologický úřad
DC .....	Direct current
EPIA .....	European Photovoltaic Industry Association
ERÚ .....	Energetický regulační úřad
FV .....	Fotovoltaika
LED .....	Light-emitting diode
MPO .....	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MPP .....	Maximum power point tracking
OZE .....	Obnovitelný zdroj energie
VRLA .....	Valve Regulated Lead Acid

## 1 Fotovoltaické články

Fotovoltaické články slouží pro přeměnu sluneční energie na energii elektrickou. Základem křemíkového fotovoltaického článku je křemíková destička s vodivostí typu P, na kterou se při procesu výroby vytvoří tenká vrstva polovodiče typu N. Destička s vodivostí typu P a tenká vrstva polovodiče typu N je oddělena P-N přechodem. Jestliže na povrch článku dopadá sluneční záření, tak vzniká fotoelektrický jev a z krystalické mřížky v polovodiči se začnou uvolňovat záporné elektrony. Následně se na P-N přechodu vytvoří elektrické napětí. U křemíkových fotovoltaických článků je toto napětí přibližně 0,5V.



Obr. 1.1. Struktura fotovoltaického článku z krystalického křemíku[1]

### 1.1 První generace fotovoltaických článků

Do první generace fotovoltaických článků řadíme destičky, které jsou vyráběné z monokrystalického křemíku. Články z monokrystalického křemíku se vyznačují především dlouhodobou stabilitou výkonu a dobrou účinností. Účinnost monokrystalických článků se v dnešní době pohybuje kolem 18 až 24%. Je nutné si však uvědomit, že účinnost kompletních panelů je zhruba o 2% nižší. [2][3]

#### 1.1.1 Monokrystalické články

Monokrystalické články se vyrábí Czochralského metodou z ingotů polykrystalického křemíku. Křemík se získává pomalým tažením zárodku krystalu z taveniny. Pomocí speciální drátové pily se řeže na tenké plátky, jejichž tloušťka je přibližně 0,25 až 0,35mm. Následně se plátky vyleští a odstraní se pomocí leptání nečistoty na povrchu. Vrstva s vodivostí typu N se vytvoří přidáním fosforu. Proces výroby je poměrně náročný jak technicky, tak i energeticky. [3]



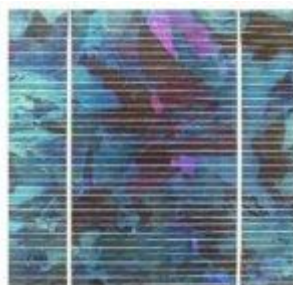
Obr. 1.2. *Struktura monokrystalického článku*

## 1.2 Druhá generace fotovoltaických článků

Druhá generace fotovoltaických článků se vyznačuje sníženým množstvím použitého křemíku potřebného pro výrobu článků. Důvodem pro snížení množství křemíku je snížení výrobních nákladů. Do druhé generace řadíme články z polykrystalického, mikrokrystalického a amorfního křemíku. Patří sem také fotovoltaické folie nebo články, které se používají na oděvech. Nevýhodou článků druhé generace je nižší účinnost. [2]

### 1.2.1 Polykrystalické křemíkové články

Polykrystalické články lze snadno rozpoznat od monokrystalických článků dle různě modré třpytící se krystalické struktury. Výroba těchto článků spočívá v roztavení křemíku ve vakuu při teplotě 1500 °C a odlévání do kvádrových forem. Vzniklé kvádrové formy se rozřežou na tyče a následně na destičky. [2][3]



Obr. 1.3. *Struktura polykrystalického článku*

### 1.2.2 Amorfní křemíkové články

Jsou vyráběny tenkovrstvou technologií. Proto se spotřebuje mnohem méně materiálu a klesají náklady na výrobu. Výroba je založena na rozkladu sloučenin křemíku ve vodíkové atmosféře. Vrstva o tloušťce 1 mm pohlcuje 90% slunečního záření a proto je

vhodné tyto články používat na oděvech. Oproti krystalickému křemíku má však tento článek méně pravidelnou strukturu a větší nestabilitu. Nevýhodou je, že podléhá procesu stárnutí, které je způsobeno světlem. [2][3]

### **1.2.3 Mikrokrystalické křemíkové články**

Při teplotě mezi 200 °C a 600 °C se vyrábí velmi tenký film mikrokrystalické struktury. Tloušťka křemíkové vrstvy je asi 0,3 μm. Změnou teploty, tlaku a mikrovlnné frekvence plazmy vzniká struktura o tloušťce 0,25 μm. [3][4]

### **1.2.4 Články CIS**

V současné době u tenkovrstvých technologií dosahují nejvyšší účinnosti články CIS (CuInSe). Při výrobě se využívá vakuová komora, ve které se při teplotě asi 500 °C potahuje nosné sklo tenkou kontaktní vrstvou. Na kontaktní vrstvu se následně nanáší absorpční vrstva CIS. Články CIS nepodléhají stárnutí světlem, ale vyznačují se problémy se stabilitou ve vlhkém a horkém prostředí. [3]

## **1.3 Třetí generace fotovoltaických článků**

Třetí generace se vyznačuje využíváním jiných materiálů, než jsou polovodiče. K separaci nábojů se zde využívají jiné metody než P-N přechod. Patří sem polymerní články a fotoelektrochemické články. Dále sem řadíme nanostruktury, které jsou ve formě uhlíkových nanotyčinek či nanotrubiček nebo kvantové tečky, které jsou naneseny na podložku. Lze měnit optické a elektrické vlastnosti těchto struktur, což je jejich výhoda. V praxi se tyto články zatím příliš neuplatňují, důvodem je malá životnost, nestabilita a nízká účinnost. [2]

## **1.4 Čtvrtá generace fotovoltaických článků**

Fotovoltaické články čtvrté generace se skládají z několika vrstev. Jsou konstruovány tak, aby využily širokou část slunečního spektra. Každá vrstva dokáže využít konkrétní rozsah vlnových délek. Sluneční záření, které nevyužije v dané vrstvě je propuštěno do hlubších vrstev. V hlubších vrstvách se následně využije záření o jiném rozsahu vlnových délek. [2]

## 2 Typy fotovoltaických systémů

Fotovoltaické systémy pro rodinné domy jsou instalovány z důvodu snížení závislosti dodávky elektrické energie z energetické sítě. Mají také využití tam, kde je složité připojit objekt k rozvodné síti. Pro správnou funkčnost fotovoltaických systémů je důležité zvolit správný typ a především správně nadimenzovat systém. Fotovoltaické systémy dále dělíme na drobné aplikace, ostrovní fotovoltaické systémy (grid-off) a grid-connected.

### 2.1 Drobné aplikace

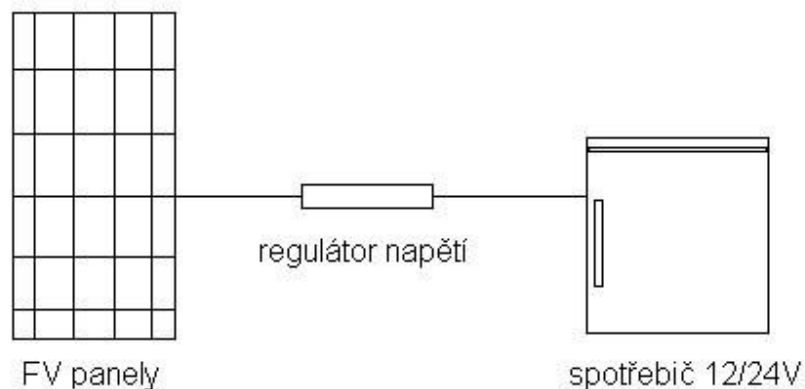
Drobné aplikace zaujímají nejmenší podíl na fotovoltaickém trhu. Řadí se sem malé fotovoltaické články, které se používají například v solárních nabíječkách či kalkulačkách. [8]

### 2.2 Ostrovní fotovoltaické systémy (grid-off)

Ostrovní systémy se využívají zejména v oblastech, kde není vybudována elektrická přípojka a je zde potřebné zajistit dodávku elektrické energie. Důvodem výstavby ostrovních systémů je především ekonomický charakter, protože náklady na vybudování elektrické přípojky jsou většinou větší, než na výstavbu ostrovního systému. Ostrovní systémy se nachází například v odlehlých objektech, jako jsou horské chaty. Ostrovní systémy se také uplatňují pro napájení dopravní signalizace, pro zahradní svítidla, telekomunikační zařízení apod. Ostrovní systémy dělíme na systémy s přímým napájením, hybridní systémy a systémy s akumulací energie. [8]

#### 2.2.1 Systémy s přímým napájením

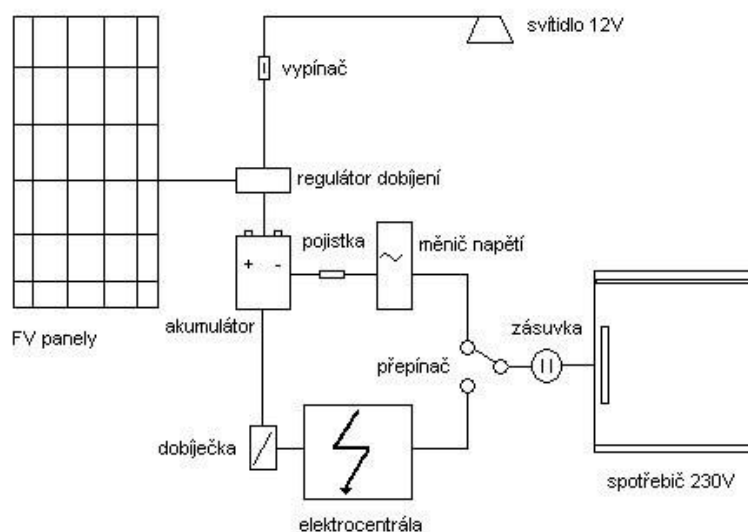
U systémů s přímým napájením je připojený spotřebič funkční pouze v případě, kdy je dostatečná intenzita slunečního záření. Tyto systémy jsou zapojeny tak, že solární panely jsou připojeny přes napěťový regulátor přímo s elektrickým spotřebičem. [6]



Obr. 2.1. Schéma zapojení systému přímým napájením[6]

### 2.2.2 Hybridní ostrovní systémy

Hybridní ostrovní fotovoltaické systémy jsou nejčastěji kombinovány s větrnými turbínami, malými vodními elektrárnami, nebo dieselovými generátory, které slouží jako zdroj elektrické energie v případě nedostatečné výroby energie z fotovoltaického systému. Hybridní systémy musí být dimenzovány tak, aby i v zimě dodávaly potřebné množství elektrické energie. Proto je potřeba počítat s větším instalovaným výkonem fotovoltaických panelů a většími pořizovacími náklady na systém. Vzhledem k tomu, že sluneční energie kolísá, tak je častou volbou použití akumulátorů. Největší evropský hybridní systém se nachází v Německu na ostrově Pellworm. [5][6]

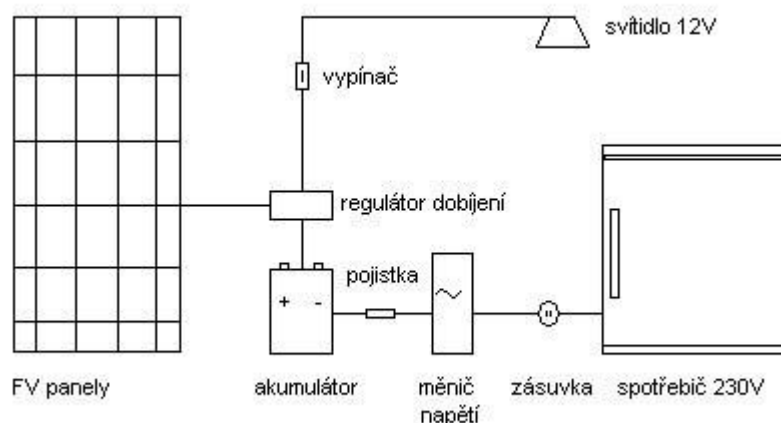


Obr. 2.2. Schéma zapojení hybridního ostrovního systému[6]



## 2.2.3 Ostrovní solární systém s akumulací elektrické energie

Tento systém má výhodu v tom, že v případě nabitých akumulátorů dokáže dodávat energii i v době bez slunečního svitu. Vyrobená energie solárními panely je pomocí solárního regulátoru dobíjení transportována a skladována v akumulátoru. Uložená energie následně může být spotřebována ve spotřebičích na nízké napětí, nebo pomocí měniče je transformována na hladinu napětí 230V. [6]



Obr. 2.3. Schéma zapojení systému s akumulací energie[6]

### 2.2.3.1 Akumulace energie

Pro akumulaci energie je nutné zvolit správný typ baterie, který je určen pro fotovoltaické systémy. V dnešní době cena akumulátorů tvoří zhruba 40 až 60% z celkových nákladů na fotovoltaický systém. Z tohoto důvodu je nutné dbát při výběru akumulátoru na kvalitu provedení a životnost. Životnost baterie se udává tzv. počtem nabíjecích cyklů, přičemž závisí na hloubce vybití akumulátoru. Průměrná životnost akumulátorů používaných ve fotovoltaických systémech je 5 až 10 let. [2]

#### 2.2.3.1.1 Olověné akumulátory

U fotovoltaických systémů s akumulací jsou nejčastěji využívány olověné akumulátory. Olověné akumulátory pro fotovoltaické systémy jsou konstruovány na hluboké vybití a nízké samovybití, oproti startovacím olověným akumulátorům. Z tohoto důvodu použití startovacích baterií (autobaterií) není vhodné. Pro ostrovní

fotovoltaické systémy je vhodné použít trakční akumulátory se zaplavenými elektrodami nebo trakční akumulátory v provedení VRLA.

Trakční akumulátory se zaplavenými elektrodami nejsou hermeticky uzavřené akumulátory a při nabíjení se uvolňuje vodík. Tento typ akumulátoru tak musí být umístěn v dobře odvětrávaných prostorech. Výhodou je, že tento typ akumulátoru má možnost dobíjení vyšším proudem než VRLA akumulátory.

Trakční akumulátory v provedení VRLA jsou bezúdržbové hermeticky uzavřené akumulátory. Tyto akumulátory se dále dělí na

- Gelové akumulátory - elektrolyt je tvořen hustým gelem
- AGM akumulátory - elektrolyt je nasáknut do skelné hmoty

VRLA akumulátory mají lepší vlastnosti než trakční akumulátory se zaplavenými elektrodami. Mají menší samovybíjení a vyšší využitelnou kapacitu. Výhodou je také manipulace s těmito akumulátory, jelikož z těchto akumulátorů nemůže vytéci žádný elektrolyt. [7]

#### **2.2.3.1.2 Alkalické akumulátory**

Mezi alkalické akumulátory patří nikl-metalhydridové (NiMH), nikl-ocelové (Ni-Fe) a nikl-kadmiové (Ni-Cd). Z těchto alkalických akumulátorů se ve fotovoltaických systémech využívají pouze Ni-Cd akumulátory a to velmi zřídka. Mezi výhody Ni-Cd akumulátorů patří snášení dlouhodobého vybití a jejich delší životnost. Životnost se udává mezi deseti a dvaceti lety při cyklech s 60-80% vybíjením. Nevýhodou je, že energetická účinnost je nižší než u olověných akumulátorů a především alkalické akumulátory mají tzv. paměťový efekt, pokud se občas zcela nevybijí. Paměťový efekt způsobuje vznik druhého vybíjecího stupně, který vede k poklesu kapacity akumulátoru. Ni-Cd akumulátory mají vyšší samovybíjení a to zejména při vyšších teplotách, než je 25°C. Ztráta náboje se udává 1-2% během prvních 10 až 20 dnů. Napětí Ni-Cd článku je 1,2V, proto musí být použito 10 článků na vytvoření 12V akumulátoru. U olověných akumulátorů s napětím článku 2V je potřeba 6 článků. Z hlediska ekologického je kadmium řazeno mezi nebezpečný odpad. [2]

### **2.2.3.1.3 Lithium-iontové akumulátory**

Lithium-iontové akumulátory jsou používány ve velkém množství elektronických zařízení. Mezi nejmodernější Li-ion články na trhu patří články Lithium-železo-fosfátové (LiFePO<sub>4</sub>). Momentálně se jedná o velmi perspektivní a technologickou konkurenci olověným akumulátorům. Výhodou těchto akumulátorů je, že nemusí být plně dobíjeny. Při částečném dobíjení akumulátor netrpí tzv. sulfatací (tvorba nerozpustného síranu olovnatého), jako je tomu u olověných baterií. Sulfatace snižuje kapacitu a zkracuje životnost. Další výhodou těchto akumulátorů je životnost více než 5000 nabíjecích cyklů při hloubce vybití 80%. Vyznačují se stabilním provozním napětím a výkonem. LiFePO<sub>4</sub> mohou být používány při velkém rozsahu teplot od -45 °C do 85 °C. [2][9]

#### **2.2.3.1.4 Další možnosti akumulace elektrické energie**

Mezi další možnosti akumulace elektrické energie patří například superkondenzátory, ukládání ve formě vodíku, ukládání ve formě mechanické energie rotujícího setrvačnicku nebo tlakové energie stlačeného vzduchu. [2]

Superkondenzátory patří mezi novou technologii ukládání energie, která přináší vysokou hustotu výkonu, velmi dlouhou životnost a velmi rychlé dobíjení. Ve vývoji už jsou více než 10 let, ale technologie se v poslední době výrazně rozvíjela. Vývoj byl způsoben pokrokem v oblasti nanomateriálů, infrastruktury a průmyslu. Superkondenzátory mají vysokou životnost a to více jak 1 milion nabíjecích cyklů. Navíc mohou pracovat při vysokém rozsahu teplot od -40°C do 70°C. Superkondenzátory uchovávají energii v elektrickém poli oproti bateriím, které uchovávají elektrickou energii v chemické reakci. Z tohoto důvodu je lze nabíjet a vybíjet velmi rychle. Malý vnitřní odpor jim umožňuje pracovat s téměř 100% účinností. [10]

Ukládání ve formě mechanické energie rotujícího setrvačnicku nebo tlakové ukládání stlačeného vzduchu lze použít pro relativně krátkodobé ukládání elektrické energie nebo pro vyrovnání dodávaného výkonu do sítě. [2]

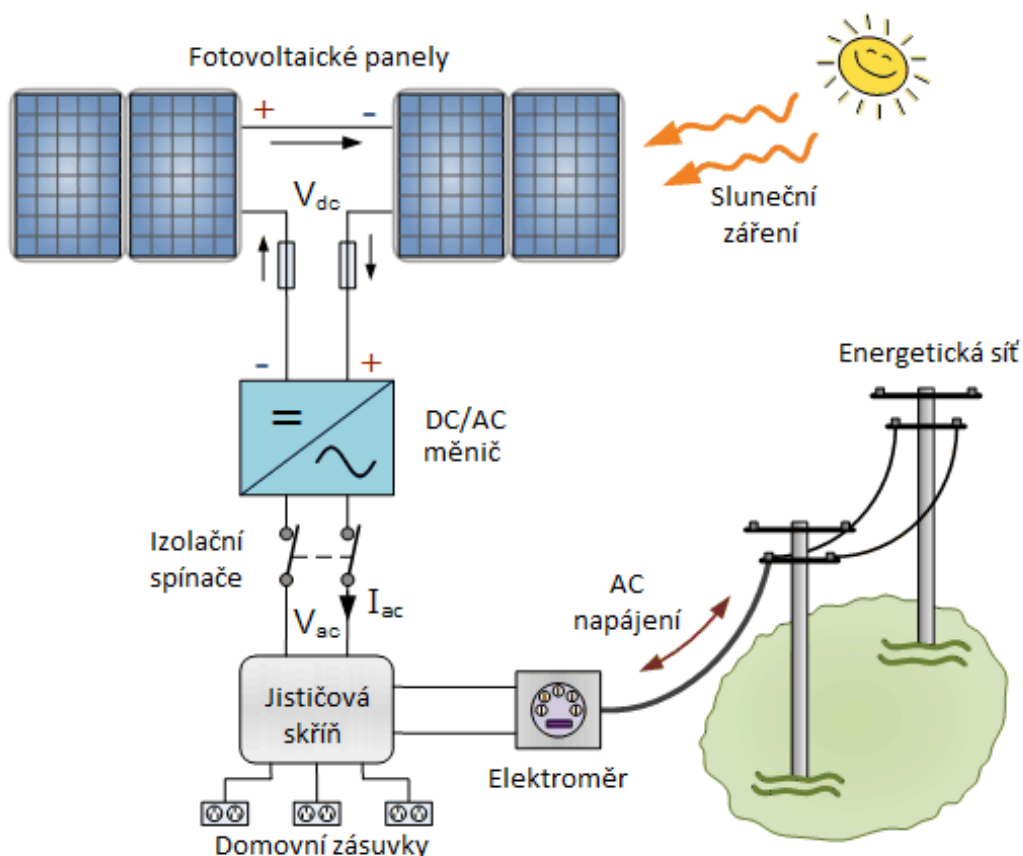
Ukládání ve formě vodíku je využitelné pro velké instalace, například pro celou vesnici. Je však zatím velmi drahý a má účinnost pohybující se pod hranicí 50%. Sestava je tvořena elektrolyzérem, zásobníkem vodíku a palivovým článkem. [2]

## 2.3 Síťové systémy (grid-connected)

U grid-connected systémů je systém propojen s místní rozvodnou sítí elektrické energie. Pro napojení na distribuční soustavu je nutné získat souhlas od provozovatele sítě. Grid-connected systémy jsou nejčastěji budovány na rodinných domech a na průmyslových objektech. Vyrobená elektrická energie pomocí fotovoltaického systému může být přímo spotřebována v objektu nebo případně ukládána do akumulátorů. Případné přebytky energie může pomocí Wattrouteru dodávat do topných těles, spotřebičů apod. Další možností je, že přebytky energie mohou být dodávány do distribuční sítě. [11] Jinými slovy budovy a objekty, které používají fotovoltaické systémy připojené do sítě, mohou využívat jak energii vytvořenou fotovoltaickým systémem, tak i energii z elektrické sítě. Odebíraná energie ze sítě je nejčastěji v zimním období, kdy fotovoltaický systém nevyrobí tolik energie, ale taky za deštivých dnů, kdy je zatažená obloha. Výroba energie fotovoltaickým systémem je závislá na slunečním záření. Přebytky vyrobené energie vznikají především v jarních a letních měsících. FV systémy připojené k síti jsou obvykle navrženy tak, aby poskytovaly alespoň polovinu elektrické spotřeby v objektu. [12]

### 2.3.1 FV systém bez akumulace energie připojený k síti

Systémy připojené k síti bez akumulace energie patří mezi nejlevnější a nejjednodušší dostupné fotovoltaické systémy. Nižší investice je dána především tím, že zde není akumulace energie do baterií. Z důvodu, že zde není nutné udržovat a nabíjet baterie, tak je tento systém efektivnější. Tyto fotovoltaické systémy jsou složeny z několika komponent.



Obr. 2.4. Schéma zapojení síťového systému bez akumulace energie[12]

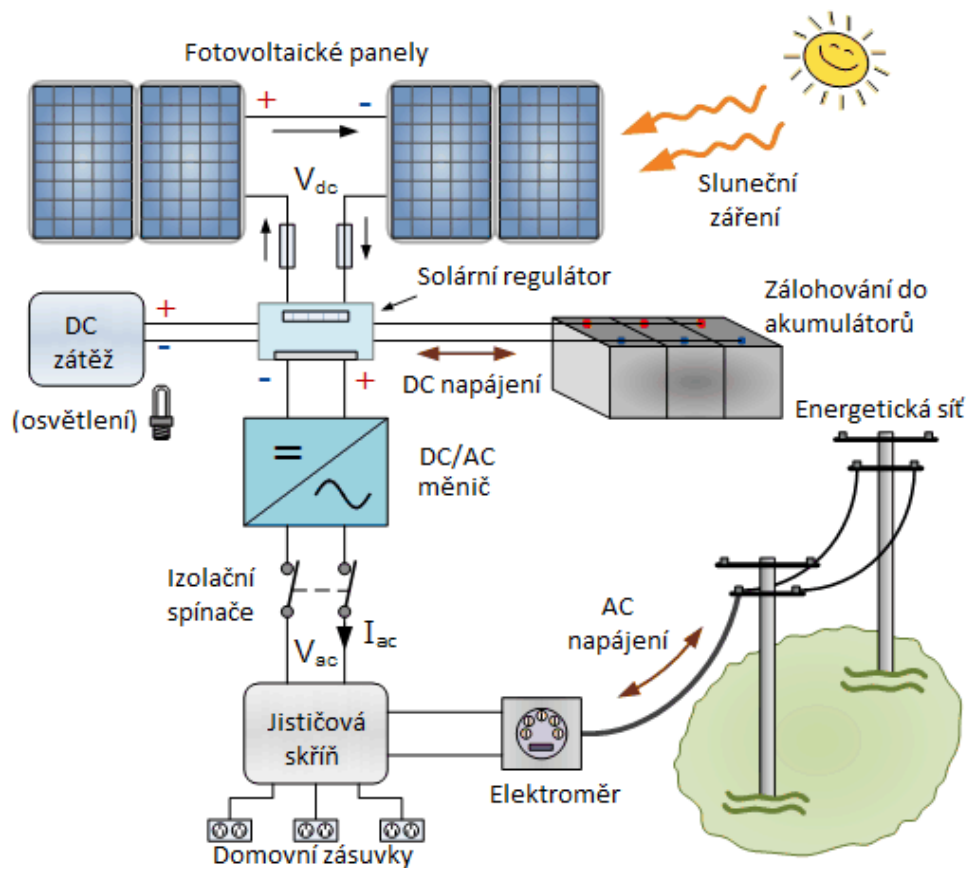
- Střídač – je to nejdůležitější součást fotovoltaického systému připojeného k síti. Jeho úkolem je odebrat stejnosměrný proud z fotovoltaických panelů a vytvářet harmonický průběh napětí o požadované frekvenci a amplitudě pro napájení spotřebičů, nebo pro dodávku elektrické energie do sítě. Volba vhodného střídače pro konkrétní fotovoltaický systém je velmi důležitá. Je vhodné zvolit ověřeného a známého výrobce střídačů. Většina známých výrobců těchto střídačů poskytuje vlastní software, který dokáže ověřit, zda zvolený střídač je vhodný pro daný systém. Při výběru střídače je nutné brát v úvahu výkon, který střídač může zvládnout a taky efektivitu přeměny stejnosměrného proudu na střídavý proud.
- Elektroměr – používá se pro zaznamenání toku elektrické energie ze sítě a do sítě. Jsou dvě možnosti jak zaznamenávat toky elektrické energie. První

možností je použití dvou elektroměrů, kde jeden měří elektrickou energii dodanou z rozvodné sítě a druhý elektroměr měří solární elektřinu dodávanou do rozvodné sítě. Druhou možností je použití jednoho oboustranného elektroměru. Tento elektroměr umožňuje otáčení hliníkového disku, jak dopředu, tak i dozadu. Měření energie tímto způsobem se označuje jako čisté měření.

- Jističová skříň
- Bezpečnostní spínače a kabeláž – fotovoltaické panely vždy produkují elektrickou energii, jestliže na ně dopadá sluneční energie. Pro údržbu nebo testování musí být umožněno odpojení od měniče. Izolované spínače dimenzované na maximální stejnosměrné napětí a proud střídače, a bezpečnostní spínače střídače musí umožnit jednoduchý přístup k odpojení systému. Kabely, které jsou použity pro fotovoltaický systém, musí být správně dimenzovány. [12]

### 2.3.2 FV systém s akumulací energie do akumulátoru připojený k síti

Fotovoltaický systém s akumulací energie je srovnatelný se systémem bez baterií. Zde je pouze přidán akumulátor a regulátor nabíjení. Regulátor nabíjení je zařízení, které určuje, zda je vyrobená energie fotovoltaickými panely využita pro aktuální využití v objektu nebo zda bude uchovávat energii v akumulátoru pro pozdější využití. Stejnosemerný proud vystupující z regulátoru vstupuje do měniče, který přeměňuje stejnosměrný proud na střídavý, který se následně využívá pro běžné domácí spotřebiče. [12]



Obr. 2.3. Schéma zapojení síťového systému s akumulací energie[12]

### 3 Využití fotovoltaických systémů v ČR

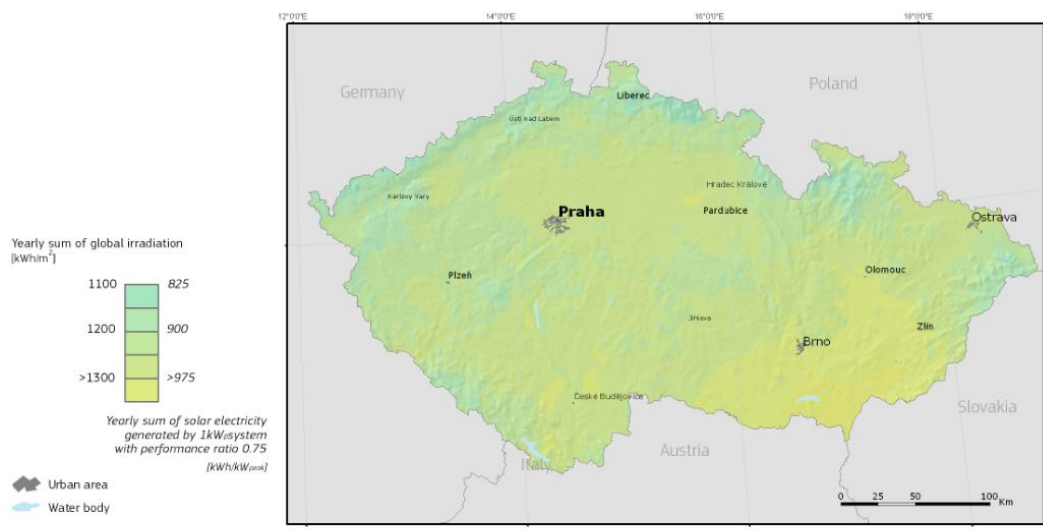
Produkce fotovoltaické energie je ovlivňována především roční dobou, zeměpisnou šířkou, lokálními podmínkami a oblačností. Dále taky dobou slunečního svitu, polohou a sklonem plochy, na které jsou fotovoltaické panely umístěny. Česká republika zaujímá rozlohu 78 864 km<sup>2</sup>, přičemž nadmořská výška z 67% nepřesahuje 500 m.n.m. V oblastech s vyšší nadmořskou výškou od 700 do 2000 m.n.m lze počítat s nárůstem globálního záření o 5%. S poklesem globálního záření se naopak musí počítat ve znečištěných oblastech. Pokles se zde uvádí 5-10%, ve více znečištěných oblastech až 20%. Studií vypracovanou ministerstvem pro místní rozvoj byl stanoven potenciál výroby elektrické energie ze sluneční energie na 80 000 TWh. Pro fotovoltaické systémy je uvedena využitelná plocha odhadem na 50 200 000 m<sup>2</sup>. Světelné záření je v ČR tvořeno z 60% světla přímého a z 40% difuzním světlem. [13]

Největší část přímého záření dopadá na zemský povrch za jasné a bezmračné oblohy. V případě, že obloha není jasná a je oblačno, tak je přímé záření rozptýleno a vzniká záření difuzní. Difuzní záření na zemský povrch přichází ze všech směrů. Globálním slunečním zářením nazýváme součet intenzity přímého a difuzního slunečního záření.

Fotovoltaické polykrystalické a monokrystalické panely potřebují pro dosažení největšího výkonu zejména přímé záření. Tenkovrstvé panely na bázi amorfního křemíku umějí velmi dobře využívat i záření difuzní, a proto za rok vyrobí asi o 10% více energie, než monokrystalické a polykrystalické panely. [14]

Na 1 m<sup>2</sup> vodorovné plochy v ČR dopadne přibližně 950 – 1340 kWh energie. ČHMÚ uvádí roční množství slunečních hodin v rozmezí 1331 – 1844 hodin. V odborné literatuře je udáváno rozmezí 1600 – 2100 slunečních hodin. Jestliže uvažujeme běžnou účinnost střídače a systém složený z polykrystalických či monokrystalických panelů, tak je možné získat zhruba 900 – 1100 kWh z jedné instalované kilowaty za rok provozu. [15]





Obr. 3.1. Roční suma dopadajícího slunečního záření na území ČR[21]

### 3.1 Legislativa

Na počátku roku 2016 vyšla v platnost novelizace energetického zákona (novelizace prováděcích vyhlášek a souvisejících zákonů). Výrazně se pozměnily a rozšířily podmínky pro provozování malých výroben elektřiny z OZE. Nově již není zapotřebí být v některých případech držitelem licence ERÚ a výrazně se zjednodušují připojovací podmínky.

Fotovoltaické systémy určené pro vlastní spotřebu energie a s instalovaným výkonem do 10 kW podle novely zákona č. 458/2000 Sb., § 3 odstavce 3, není potřeba licence od ERÚ a to i v případě, že je tento fotovoltaický systém připojen k distribuční soustavě. Podmínkou však je, že ve stejném místě nesmí být provozována jiná výrobní elektrická energie, která vyžaduje provoz s licenci.

V platnost vyšla začátkem roku vyhláška o připojování č. 16/2016 Sb., která definuje zcela novou kategorii výroben nazvanou mikrozdroje. Za mikrozdroj je považován systém připojený k distribuční soustavě, který nedodává elektrickou energii do distribuční sítě a má maximální výkon 10 kW a jmenovitý střídavý fázový proud do 16 A na fázi. Tento systém musí obsahovat zařízení, které zamezuje dodávkám elektrické energie v místě připojení do distribuční sítě. Součástí vyhlášky je také zjednodušení procesu připojení. Když provozovatel prokáže, že v místě připojení je maximální hodnota impedance proudové smyčky pro zdroje do 10 A na fázi 0,75 Ω, a pro zdroje do 16 A na fázi 0,47Ω,

pak mu vzniká nárok na připojení. Provozovatel distribuční sítě ho musí připojit a vystavit dodatek ke smlouvě o připojení vlastníka mikrozdroje, jako odběratele, nebo uzavřít smlouvu novou. ERÚ vydal cenové rozhodnutí č. 7/2015, které v bodu 3.28. písm. d) uvádí, jaké pokuty provozovatel mikrozdroje bude platit v případě, že poruší vyhlášku a dodá do soustavy elektrickou energii.

Podle novely zákona č. 586/1992 Sb., o daních z příjmů není příjem z prodeje elektrické energie provozované v souladu se zákonem a bez licence u systému do 10 kW příjmem z podnikání, ale je řazena do ostatního příjmu. Tato změna umožnila provozovateli systému dodávat přebytečnou energii do distribuční sítě. [16]

### **Důležité právní předpisy a zákony**

- Zákon č. 165/2012 Sb.
- Zákon č. 458/2000 Sb.
- Vyhláška ERÚ č. 296/2015 Sb.
- Vyhláška ERÚ č. 408/2015 Sb.
- Vyhláška ERÚ č. 9/2016 Sb.
- Vyhláška ERÚ 16/2016 Sb.
- Vyhláška MPO č. 145/2016 Sb.
- Vyhláška MPO č. 477/2012 Sb.
- Vyhláška MPO č. 37/2016 Sb.
- Vyhláška MPO č. 441/2012 Sb.
- Vyhláška MPO č. 82/2011 Sb.

### 3.1.1 Přehled podmínek připojení systémů

**Ostrovní systém** - V případě, že vyrobená elektrická energie ostrovním systémem je zcela spotřebována majitelem a systém není připojen k distribuční síti, tak majitel nepotřebuje licenci od ERÚ. Výjimkou jsou pouze instalace, které získaly v minulých letech nárok na podporu a pobírají zelené bonusy. Licence od ERÚ není potřeba na žádný ostrovní systém, jelikož se nejedná o podnikání. Pro ostrovní systém tedy není nutná žádná smlouva ani licence od provozovatele distribuční soustavy.

**Dodávání energie do sítě** - Vlastník systému, který dodává veškerou vyrobenou elektrickou energii do distribuční soustavy musí být držitelem licence od ERÚ, jelikož se v tomto případě jedná o podnikání. Majitel zároveň musí splnit proces žádosti o připojení a jeho podmínky. Majitel systému tedy potřebuje taky smlouvu s obchodníkem o dodávkách elektrické energie a smlouvu o připojení s provozovatelem distribuční soustavy.

**Mikrozdroj** - Provozovatel mikrozdroje potřebuje pro provoz systému dodatek ke stávající smlouvě o připojení k distribuční soustavě. Provozovatel také musí počítat s tím, že v případě přetoků energie mu bude uložena pokuta. Musí tedy zainvestovat do zařízení, které přetokům energie zabraňuje.

**Vlastní spotřeba energie** - U výroby pro vlastní spotřebu provozovatel není nucen zabraňovat přetokům energie do distribuční soustavy. Provozovatel nepotřebuje licenci od ERÚ, ale je zapotřebí smlouva s provozovatelem distribuční soustavy. Pro dodávky přetoků elektřiny ještě musí uzavřít dohodu s obchodníkem s elektřinou, od kterého inkasuje stanovenou výkupní cenu elektrické energie. [16]

### 3.2 Finanční nástroje podpory v ČR

Směrnice 2009/28/ES, která byla přijata 23. dubna 2009, uvádí, že podíl vyrobené energie z obnovitelných zdrojů do roku 2020 musí dle EU být minimálně 20%. Zároveň stanovuje, že všechny členské státy EU musí splňovat alespoň 10% podíl obnovitelných zdrojů v dopravním průmyslu. Směrnice bere ohled na startovní pozici jednotlivých států a stanovuje konkrétní cíle pro jednotlivé členské státy. Ve směrnici není udáno, jakým způsobem by měl stát zajistit splnění těchto cílů. V roce 2013 předložila Evropská komise pokyny pro podporu obnovitelných zdrojů energie a mechanismy spolupráce pro dosažení

požadavků v oblasti obnovitelných zdrojů energie. Komise zde před používanými výkupními cenami upřednostňuje výkupní bonusy, nabídková řízení a povinné plnění kvót. [17]

### **3.3 Zelené bonusy a výkupní ceny**

V České republice se ERÚ rozhodl uskutečnit podporu OZE formou výkupních cen (feed-in tariff) a formou zelených bonusů. ERÚ zároveň stanovuje výši a rozsah podpory pro OZE. [18] Tento systém lze považovat ve světě za nejosvědčenější a lze říci, že v Evropě a ve světě dominuje. Podporu a její formy uvádí zákon č. 165/2012 Sb.

#### **3.3.1 Zelené bonusy**

Pokud chce výrobce elektrické energie využívat zelené bonusy, je nutné, aby si našel odběratele, kterému bude za sjednanou cenu elektrickou energii prodávat. Je možné s obchodníkem uzavřít smlouvu, že část vyrobené energie se bude spotřebovávat přímo v místě výroby a přebytečná vyrobená energie bude dodávána obchodníkovi s elektřinou. Zelené bonusy na elektřinu včetně účelně spotřebované elektřiny v místě výroby vyplácí OTE, a.s. podle naměřené energie stanoveným měřidlem. [19]

#### **3.3.2 Výkupní ceny**

Vykupující má od výrobce povinnost vykoupit veškerý objem vyrobené elektřiny z OZE, který je naměřen v místě, kde je vyrobená elektrická energie předávána do distribuční či přenosové soustavy. Ze zákona č. 165/2012 Sb., §12 ve znění pozdějších předpisů se garance patnáctileté prosté návratnosti vztahuje za podmínky dodržení ekonomických a technických požadavků, které jsou stanoveny vyhláškou č. 347/2012 Sb. Cena je mimo výroben používajících bioplyn, biokapaliny nebo biomasu vedena jako minimální po celou dobu životnosti výroby a je pravidelně indexována 2%. Vyrobené elektrická energie je stejně jako v případě zelených bonusů měřena stanoveným měřidlem v předávacím místě výroby elektřiny a distribuční či přenosové soustavy. Výkupní ceny jsou oproti zeleným bonusům účtovány včetně DPH a jsou povinně fakturovány přímo vykupujícímu.

Výrobní, které byly uvedeny do provozu před začátkem roku 2013, se řídily dle zákona č. 180/2005 Sb. a vyhláškou č. 475/2005 Sb. Nastavení výkupních cen bylo takové,

že výrobcům elektrické energie z OZE byla zaručena patnáctiletá návratnost vložených investic do systémů.

U výroben, které byly uvedeny do provozu až v roce 2013, byla výše podpor stanovena zákonem č. 165/2012 Sb. Patnáctiletá doba návratnosti je hlavní podmínka pro stanovení výkupních cen. V příloze č. 22 vyhlášky č. 408/2015 Sb. je uveden vzorec pro výpočet hodinových zelených bonusů. V případě hodinových zelených bonusů je podle zákona uvedena očekávaná průměrná cena elektřiny a skutečná cena elektrické energie. [19]

### 3.4 Dotační tituly v ČR

V ČR se v současné době podporuje výroba elektrické energie z reprodukovatelných zdrojů. Preferují se zdroje, které se řadí do obnovitelných a nezatěžují životní prostředí. Patří sem zejména zdroje, které využívají sluneční energii, vodní energii a energii větru. Na výstavbu těchto OZE lze od státu získat finanční dotaci.

Nová zelená úsporám je aktuální dotační program ministerstva životního prostředí. Nová zelená úsporám prošla za poslední roky několika úpravami. Zahrnuje dotace na solární systémy pro ohřevy vody a na fotovoltaické systémy. V případě, že se fyzická nebo právnická osoba rozhodne systém budovat, může od státu získat podporu až 50% z pořizovací ceny (v Ústeckém kraji a pro Moravu platí dokonce až 60%), nejvíce však dotace může dosáhnout 100 000 Kč. Tyto dotace vyplácí státní fond životního prostředí. Nejdříve však majitel systému musí na vlastní náklady systém vybudovat a až po jeho uvedení do provozu je mu dotace vyplacena na bankovní účet. Novinkou u Nové zelené úsporám je, že majitel systému, který financoval systém po začátku roku 2013, může zpětně zažádat o dotaci. Nyní je nutné žádat o dotaci pouze elektronicky oproti předchozím rokům. Žadatel o dotaci musí splnit několik podmínek. Žádost se může uplatnit na rodinný dům, který se nachází v ČR. Dotaci z Nové zelené úsporám může čerpat žadatel, který je fyzickou nebo právnickou osobou a mohou dotaci čerpat i firmy. Další podmínkou pro udělení dotace je, že po dobu vyřizování dotace (od podání až po vyplacení) musí být žadatel vlastníkem nebo spoluvlastníkem domu. Před podáním žádosti je nutné nechat si zpracovat odborný posudek. Odborný posudek se skládá z projektové dokumentace a z energetického hodnocení budovy. Žádost o dotaci také obsahuje krycí list technických

parametrů. V krycím listu technických parametrů jsou uvedeny důležité parametry o rodinném domě a vlastnosti instalovaného fotovoltaického systému. Tento list se doporučuje vyplňovat s energetickým specialistou. Po splnění všech uvedených náležitostí je nutné podat žádost o příspěvek na dotaci online na webových stránkách Nové zelené úsporám. Na webových stránkách je nutná registrace. Po registraci se musí vyplnit elektronická žádost o dotaci. Tato vyplněná žádost se vytiskne a spolu s dalšími dokumenty se musí doručit poštou nebo osobně na pracoviště Státního fondu životního prostředí ČR a to do pěti kalendářních dnů. Státní fond životního prostředí ČR má přibližně tři týdny na věcnou a formální kontrolu. V případě, že všechny dokumenty jsou v pořádku, tak je žadatel informován o přijetí žádosti přibližně do šesti týdnů od odeslání žádosti. [22]

### 3.5 Ekologie a životnost

Obnovitelné zdroje energie pozitivně přispívají na zpomalení klimatických změn. Největší naděje je vkládána do oblasti solární energetiky. Ve srovnání s elektrickou energií vyráběnou z fosilních paliv je prokázáno, že výroba elektrické energie ze solárních článků o 90% snižuje emise, snižuje množství znečišťujících látek a skleníkových plynů. Stále více přibývají poslední dobou výzkumy, které se zabývají negativními dopady solárních panelů.

Solární panely se skládají z několika materiálů. V největší míře je zastoupeno sklo, které tvoří přibližně 63% hmotnosti fotovoltaického panelu. Dalšími materiály jsou hliník a některé vzácné a těžké kovy a polokovy jako jsou křemík, olovo, stříbro a měď. V ČR je instalováno nejvíce fotovoltaických panelů na bázi křemíku, ale je zde zastoupeno i zanedbatelné množství panelů, které využívají kadmium. Kadmium se řadí mezi toxické látky, které mohou mít negativní vliv na DNA. Mezi další potenciálně škodlivé látky patří fluorid sírový. Fluorid sírový se řadí mezi skleníkové plyny. Z hlediska environmentálního dopadu při výrobě fotovoltaických panelů, vzniká vysoké množství emisí skleníkových plynů. Emise vznikají pouze při výrobě, nikoliv při samotném provozu fotovoltaického zařízení. Při zpracovávání křemíku vzniká fluorid dusitý, který má výrazný vliv na životní prostředí. Fluorid dusitý je až dvanáct tisíckrát agresivnější skleníkový plyn než oxid uhličitý a jeho koncentrace za posledních dvacet let narostla zhruba dvacetinásobně. [23]

Životnost fotovoltaických panelů je zhruba 25 let. Osvědčení výrobci fotovoltaických panelů uvádějí, že za 10 let provozu poklesne účinnost fotovoltaických panelů přibližně o 10 procent. Po 25 letech uvádějí pokles účinnosti pod 20%, přičemž výrobce doporučuje panel při poklesu pod tuto hodnotu vyměnit. Po uplynutí životnosti se panely dají do značné míry recyklovat. Česká legislativa uvádí, že vlastníci fotovoltaických panelů, které byly instalovány před rokem 2013, musí platit recyklační poplatek v letech 2014 až 2018. Tento poplatek je vypočítán na základě materiálového složení a hmotnosti panelů. Panely, které byly instalovány po roce 2013 již tyto recyklační poplatky nehradí, protože likvidaci panelů hradí výrobce. Při procesu recyklace panelů je nutné odseparovat jednotlivé materiály. Nejdříve se pomocí termického zahřívání uvolní pojídla. Následuje chemické nebo mechanické oddělení jednotlivých materiálů. Recyklací se může získat až 97% surovin, které se dají využít pro výrobu nových fotovoltaických panelů. V současnosti je v EU platný Systém recyklace EPIA, který je platný od roku 2009. Systém recyklace EPIA funguje pouze na dobrovolné bázi a členové tohoto systému se zavázali, že 65% vysloužilých instalovaných panelů v EU od roku 1990 zrecyklují a získají 85% recyklovaných materiálů, které se budou moci využít pro další výrobu. V ČR se fotovoltaika začala rozvíjet díky státní podpoře v letech 2009 – 2010 a lze tedy předpokládat, že velká vlna recyklací panelů přijde kolem roku 2030. [23] [24]

## 4 Analýza a vyhodnocení možností snížení spotřeby elektřiny

Důležitou částí před samotným návrhem fotovoltaického systému je analýza současné spotřeby elektrické energie v domě. Samotná analýza spotřeby energie elektrických spotřebičů v domácnosti a její vyhodnocení má vliv na velikost instalovaného výkonu fotovoltaického systému a na velikost kapacity akumulátorů. Při analýze jsem se zaměřil především na denně využívané spotřebiče v domácnosti, které jsou uvedeny v tabulce 4.1.

Pro přípravu teplé vody je v objektu využíván vakuový trubcový solární systém. V případě, že solární systém z důvodu vlivu počasí neohřeje vodu na požadovanou teplotu, tak se ohřívá voda ve výměníku pomocí elektrické topné spirály o příkonu 2000 W. V tabulce 4.1. je uvedena průměrná doba denní spotřeby elektrické topné spirály, která byla stanovena pomocí měření podružného elektroměru v objektu během roku. Ohřívání pomocí topné spirály se využívá především v chladných bezslunečných dnech během roku, kdy vakuový solární systém má malou účinnost.

Na základě sledování denního provozu jednotlivých spotřebičů elektrické energie, byla stanovena průměrná doba denního provozu jednotlivých spotřebičů a vypočtena spotřeba elektrické energie. U velkých spotřebičů elektrické energie byla pomocí zásuvkového měřiče spotřeby měřena spotřeba elektrické energie za 24 hodin. Měření pomocí zásuvkového měřiče spotřeby bylo provedeno u lednice, mrazáku a u TV v pohotovostním režimu (stand-by).



Tab. 4.1. Seznam denně využívaných spotřebičů

SPOTŘEBIČE (Denně využívané)					
Místnost	Spotřebič	Příkon [W]	Průměrný denní provoz [min]	Spotřeba [kWh/den]	
OBÝVACÍ POKOJ	Hlavní osvětlení - LED	10	120	0.0200	
	Vedlejší osvětlení - HALOGEN	200	2	0.0067	
	Vedlejší osvětlení - LED	10	20	0.0033	
	TV	128	120	0.2560	
PRACOVNA	Hlavní osvětlení - LED	10	150	0.0250	
	Vedlejší osvětlení - KOMP. ZÁŘIVKA	11	30	0.0055	
	Osobní počítač	90	90	0.1350	
	Žehlička	1500	10	0.2500	
KUCHYNĚ	Hlavní osvětlení - LED	10	90	0.0150	
	Osvětlení kuchyňské linky - LED	50	45	0.0375	
	Elektrický sporák	6500	20	2.1667	
	Elektrická trouba	3200	20	1.0667	
	Myčka na nádobí	2200	25	0.9167	
	Rychlovarná konvice	2000	10	0.3333	
	Lednice		-	0.4900	
KOUPELNA	Hlavní osvětlení - LED	10	90	0.0150	
	Vedlejší osvětlení - LED	12	20	0.0040	
	Fén	1800	10	0.3000	
POKOJ 1	Hlavní osvětlení - LED	24	20	0.0080	
	Vedlejší osvětlení - HALOGEN	40	20	0.0133	
	TV	125	20	0.0417	
	Radio	30	60	0.0300	
POKOJ 2	Hlavní osvětlení - LED	24	90	0.0360	
	Radio	25	10	0.0042	
TECHNICKÁ MÍSTNOST	Hlavní osvětlení - LED	10	20	0.0033	
	Pračka	2100	10	0.3500	
	Žehlička	2600	5	0.2167	
	Vysavač	2000	10	0.3333	
	Mrazák		-	0.4500	
	Bojler	***	2000	-	2.5560
	Plynový kotel	*	120	90	0.1800
ZAHRADA	Hlavní osvětlení - HALOGEN	500	20	0.1667	
	Bazénová filtrace	**	450	120	0.9000
	Zahradní čerpadlo		1500	10	0.2500

\* Plynový kotel bývá obvykle v provozu od listopadu do konce května, proto byla na základě měření energie odhadnuta průměrná spotřeba vztažená na celý rok  
 \*\* Bazénová filtrace bývá v provozu přibližně 1/3 roku,  
 \*\*\* Bojler je v provozu ve dnech, kdy není teplá voda ohřátá solárním systémem

Osvětlení – v rodinném domě jsou z velké části používána svítidla LED. Elektroluminiscenční diody LED mají účinnost přibližně 60 až 170 lm/W. Mají vyšší účinnost než klasické žárovky a přibližně 2x vyšší, než zářivky. Výhodou LED svítidel je také velmi dlouhá životnost oproti ostatním světelným zdrojům. Dalšími používanými světelnými zdroji v objektu jsou halogenová svítidla. Pro osvětlení zahrady se využívají dvě halogenová svítidla o příkonu 2x 250 W, která navrhuji nahradit reflektory LED z důvodu úspory elektrické energie. LED reflektory o příkonu 50 W by plně nahradily dosavadní používané halogenové reflektory. Pokud uvažujeme, že současné halogenové reflektory spotřebují denně přibližně 0,1667 kWh elektrické energie, tak za rok je to 60,84 kWh. Cena za jednu kWh je 4,3 Kč. Roční provoz halogenových reflektorů tedy vychází na 261 Kč. V případě náhrady za LED reflektor s příkonem 50 W by náklady na provoz byly pětinové. Ročně by se tak mohlo ušetřit 48 kW, což odpovídá úspoře 206 Kč.

Lednice, mrazák – z vlastní zkušenosti mám ověřeno, že stáří těchto spotřebičů se negativně podepisuje na spotřebě elektrické energie. Proto jsem se rozhodl porovnat spotřebu elektrické energie, kterou udává výrobce a aktuální spotřebu těchto spotřebičů. U mrazáku, který je zařazen do energetické třídy A++ a jehož stáří je 4 roky, udává výrobce spotřebu 0,45 kWh za den. Spotřeba elektrické energie, kterou jsem naměřil, byla dokonce ještě nižší, než udává výrobce a činila 0,44 kWh za den. Následně byly měřeny lednice. V objektu rodinného domu se nachází dvě lednice. U lednice, která je umístěna v technické místnosti a je využívána pouze přibližně 5 dnů v roce uvádí výrobce příkon 185 W, ale neuvádí zde spotřebu elektrické energie za den. Naměřená spotřeba elektrické energie této jedenáct let staré lednice byla 3,84 kWh za den. Pokud spotřebu elektrické energie porovnám s lednicí, která je nyní v rodinném domě denně v provozu a u které bylo naměřeno 0,49 kWh za den, tak lze vidět, jaký negativní vliv má stáří lednice na spotřebu energie.

TV – u televizorů byla měřena spotřeba elektrické energie v režimu stand-by. Bylo zjištěno, že odebíraná elektrická energie v režimu stand-by je u moderních TV velmi nízká.

Elektrický vařič – v současné době je v domě využíván elektrický sporák. Do budoucna by bylo vhodné zvážit náhradu tohoto spotřebiče indukčním vařičem, který dosahuje vyšší účinnosti.

V domě jsou dále umístěny větší spotřebiče elektrické energie, které jsou používány pouze příležitostně a jsou uvedeny v tabulce 4.2.

Tab. 4.2. Seznam denně nevyužívaných spotřebičů

<b>SPOTŘEBIČE (Denně nevyužívané)</b>	
<b>Spotřebič</b>	<b>Příkon [W]</b>
Cirkulační pila	4500
Kompresor	2800
Elektrodová svářečka	4200
Tlaková myčka	1800

## 5 Návrh fotovoltaického systému

Obvykle se fotovoltaický systém navrhuje pomocí výpočetního softwaru. Jednou z možností je využití online výpočetního nástroje PVGIS, který je přístupný zdarma na internetu. PVGIS je vhodný nástroj pro hrubý návrh fotovoltaického systému. Pokud však chceme systém navrhnout do detailů, tak je nutné použít profesionální výpočetní software, který využívají především společnosti zabývající se návrhem fotovoltaických systémů. Pro návrh fotovoltaického systému byl použit software Energie 2016.

Pro rodinný dům byl zvolen hybridní systém s akumulací energie. Hlavní výhodou tohoto systému je, že v případě výpadku napájení z distribuční sítě, může systém využívat energii uloženou v akumulátorech a umožňuje tím souvisle napájet zařízení v domácnosti. V případě, že jsou přebytky elektrické energie (akumulátor je plně nabitý a aktuální spotřeba v domácnosti je nižší než aktuální produkce elektrické energie fotovoltaickým systémem) je možné prodávat přebytky do sítě. Prodej přebytků elektrické energie je v současné době nevýhodný z důvodu nízkých výkupních cen a proto je výhodné fotovoltaický systém navrhnout tak, aby vyráběl co nejmenší přebytky energie. Tento navržený systém bude provozován v režimu mikrozdroje s nulovými přetoky energie do distribuční sítě. V případě, že je elektrické energie nedostatek, tak systém odebírá elektrickou energii z distribuční sítě. Další výhodou hybridního systému s akumulací energie je, že je možné zažádat o dotaci Nová zelená úsporám. V případě, že majitel fotovoltaického systému s akumulací energie vlastní systém, který je schopný spotřebovat alespoň 70 % vyrobené energie přímo v domě, může získat dotaci až 70 000 Kč při ročním využitelném zisku alespoň 1700 kWh. V případě, že je roční využití elektrické energie fotovoltaickým systémem alespoň 3000 kWh, může majitel zažádat o dotaci 100 000 Kč.

Fotovoltaický systém byl navržen tak, aby co nejvíce pokryl spotřebu elektrické energie v domě. Pro určení výkonu fotovoltaického systému byly stěžejní měsíce od dubna po září a především na toto období se systém navrhoval. Pokud bychom uvažovali zimní měsíce a chtěli bychom pokrýt spotřebu objektu, tak by se na celý systém výrazně zvýšily pořizovací náklady a návratnost investice by se výrazně prodloužila.

Pro návrh fotovoltaického systému byly použity odečty elektrických energií během roku, které jsou uvedeny v tabulce 5.1. V domě je spotřebováno během roku 4477 kWh elektrické energie.

Tab. 5.1. Odečty elektrické energie během roku

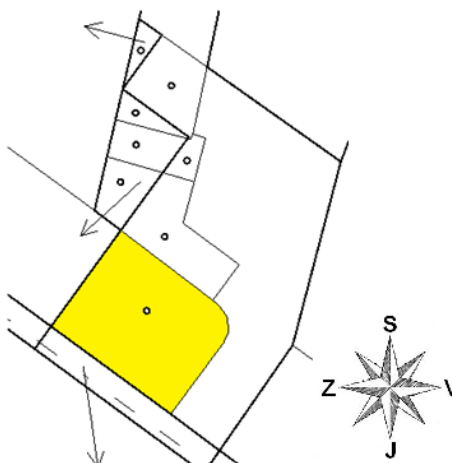
Měsíc	Spotřeba elektřiny v budově [kWh]
Leden	418,79
Únor	357,71
Březen	378
Duben	352,36
Květen	355,2
Červen	339,85
Červenec	352,09
Srpen	358,07
Září	357,01
Říjen	384,67
Listopad	392,28
Prosinec	430,98

## 5.1 Popis budovy

Rodinný dům, na který je proveden návrh fotovoltaického systému se nachází v Ústeckém kraji v obci Lenešice. Na obrázku 5.2. je uvedena katastrální mapa, kde lze vidět polohu a orientaci objektu. Sedlová střecha domu je orientována mírně na jihozápadní stranu a je tedy z hlediska využití slunečního potenciálu téměř ideální. Střecha domu má rozměry 9,8 x 5,2m a sklon střechy je 40°. Sluneční svit na plochu střechy dopadá bez zastínění okolní zástavbou. Na jižní straně střechy v levé části jsou umístěny dva tubicové vakuové solární kolektory pro ohřev vody v objektu. Solární kolektory zaujmají malou část plochy střechy a nelimitují tak rozsahem navržený fotovoltaický systém.



Obr. 5.1. Pohled na dům z jižní strany

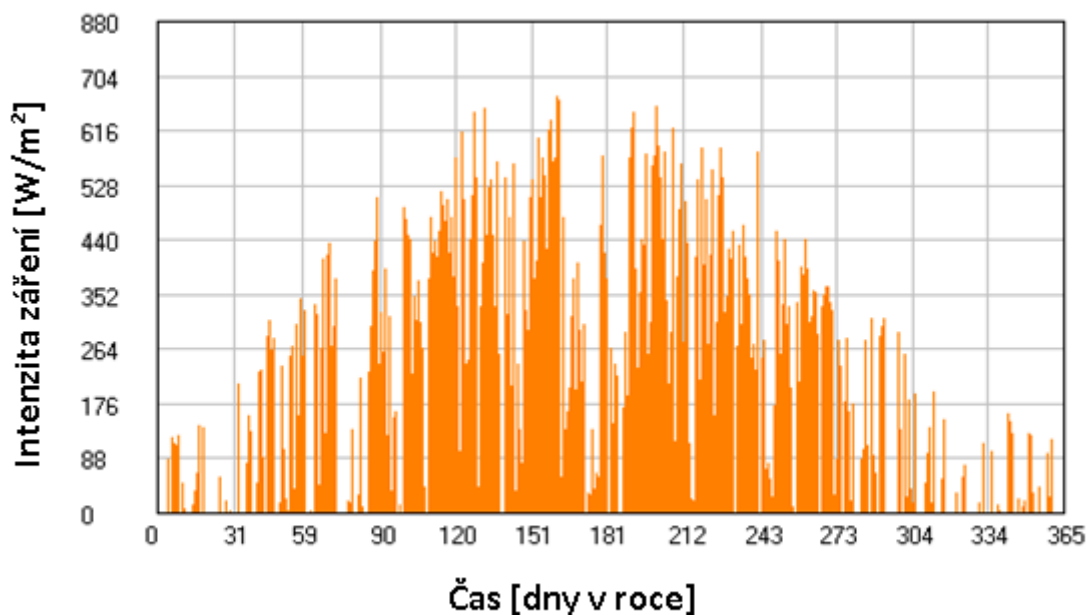


Obr. 5.2. Poloha rodinného domu v katastrální mapě [25]

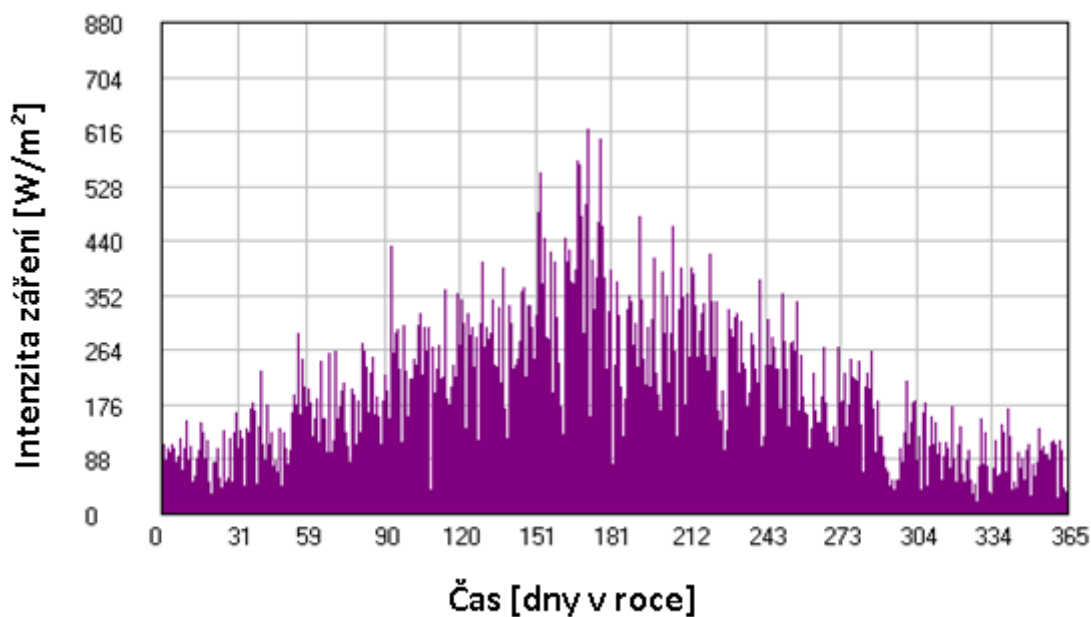
## 5.2 Energetický potenciál budovy

Pro návrh fotovoltaického systému je nutné znát množství dopadající sluneční energie v dané lokalitě. Důležité parametry pro určení intenzity dopadajícího záření se liší pro různé nadmořské výšky, podle znečištění atmosféry v dané lokalitě, zeměpisnému umístění lokality a podle ročního období. Sluneční záření se rozděluje na přímé a nepřímé (difuzní).

Přímé a difuzní záření je důležité pro stanovení produkce elektrické energie při volbě fotovoltaických panelů. Přímé záření převažuje při jasné bezmračné obloze. Difuzní záření vzniká rozptylem přímého záření v mracích a částech v atmosféře. V průměru za celý rok tvoří přibližně 40% přímé záření a 60% difuzní záření. Na obr. 5.3. je uvedeno difuzní záření a na obr. 5.4. je uvedeno přímé záření pro lokalitu výstavby fotovoltaického systému.



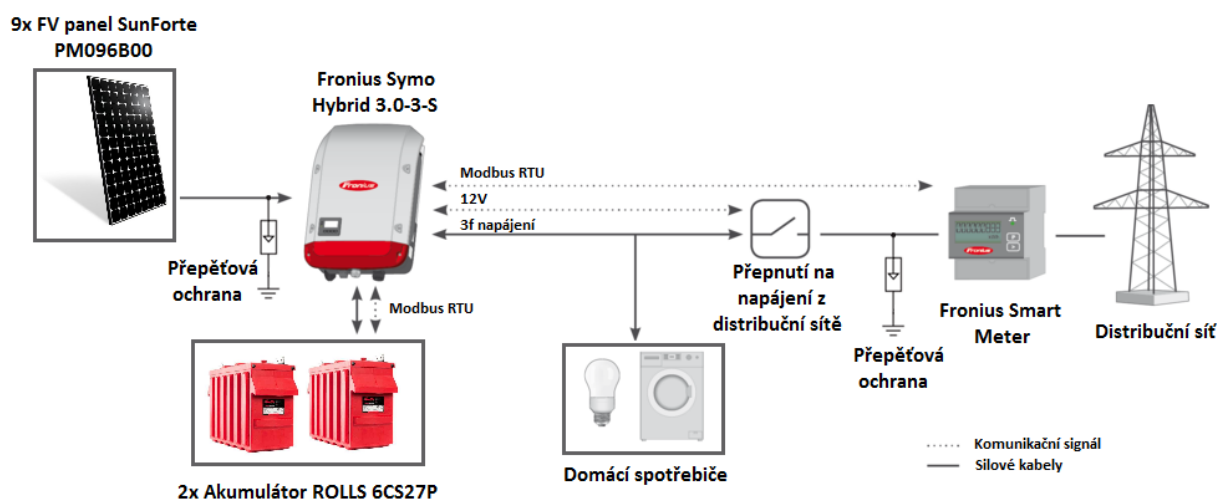
Obr. 5.3. Difuzní záření během roku



Obr. 5.4. Přímé záření během roku

## 5.3 Komponenty fotovoltaického systému

Schéma zapojení jednotlivých komponent navrženého fotovoltaického systému s akumulací energie je uvedeno na obr. 5.5. Fotovoltaický systém bude provozován v režimu mikrozdroje, což znamená, že do distribuční sítě nebudou dodávány žádné přetoky elektrické energie vyrobené fotovoltaickým systémem. O zajištění nulové dodávky elektrické energie se stará Fronius Smart Meter, který komunikuje s hybridním měničem. Hybridní měnič následně nastaví vhodný výstupní výkon.



Obr. 5.5. Schéma zapojení fotovoltaického systému

### 5.3.1 Fotovoltaické panely

Při volbě fotovoltaického panelu bylo nejdříve důležité zvolit typ fotovoltaického panelu. Na trhu je poměrně široké množství technologií. Mezi ověřené a cenově dostupné typy fotovoltaických panelů patří především monokrystalické a polykrystalické křemíkové panely. Důvodem volby monokrystalického panelu bylo to, že dosahují o něco větší účinnosti článků a mají tedy větší výtěžnost výkonu ze stejné plochy. Bylo nutné snížit množství panelů jak z důvodu hmotnosti, která zatěžuje střešní konstrukci, tak taky s ohledem na plochu střechy, na které již je umístěn systém s trubcovým vakuovým kolektorem. Z těchto důvodů byl zvolen monokrystalický typ panelu SunForte PM096B00 od značky Benq o špičkovém výkonu 330 Wp. Tento monokrystalický panel má rozměry 1559 x 1046 x 46 mm. Účinnost fotovoltaického panelu udává výrobce 20,3 %. Tato hodnota je udávána za ideálních laboratorních podmínek, kterých se reálně v provozu však nedosáhne. Průměrná roční účinnost je 17,7%. Plocha jednoho panelu je 1,63 m<sup>2</sup> a na střešní konstrukci je umístěno celkem devět těchto fotovoltaických panelů o celkové ploše



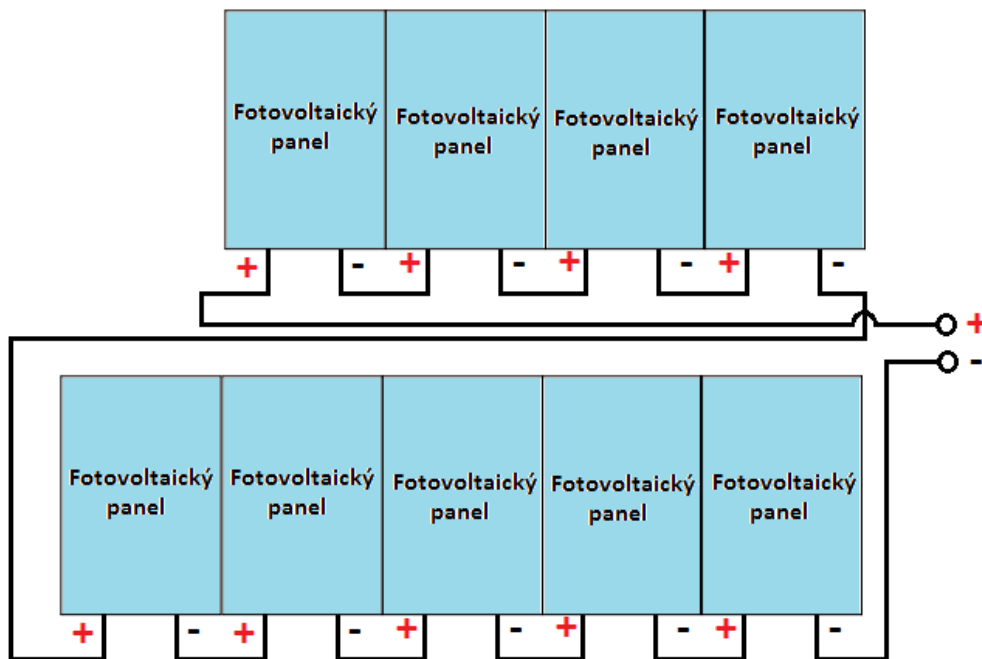
14,67 m<sup>2</sup>. V tabulce 5.2. jsou uvedeny základní parametry použitých fotovoltaických panelů. Fotovoltaické panely jsou zapojeny sériově, aby dodávaly potřebné napětí pro střídač. Fotovoltaický panel má jmenovité napětí 54,7 V a výstupní jmenovité napětí ze sériově spojených fotovoltaických panelů tedy dosahuje 492,3 V. Solární panely jsou propojeny solárním kabelem o průřezu 4 mm<sup>2</sup>. Schéma zapojení je uvedeno na obrázku 5.7.



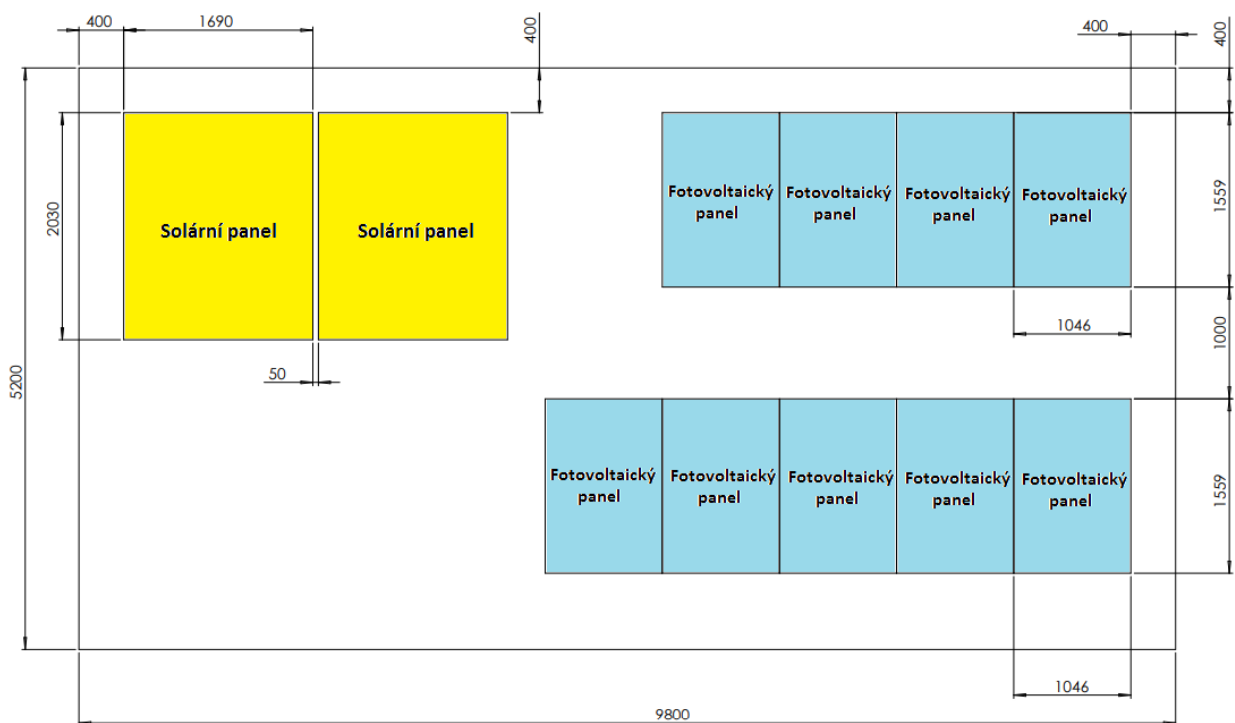
Obr. 5.6. Benq SunForte PM096B00 [28]

Tabulka 5.2. Parametry FV panelu

Typ FV panelu	PM096B00 330SunForte
Počet FV panelů daného typu	9
Plocha FV panelu	1,63 m <sup>2</sup>
Účinnost FV panelu	20,3%
Výkonový teplotní součinitel FV panelu	-0,33 %/K
Úhlový ztrátový činitel	0,165
Jmenovitá provozní teplota	45,0 °C
Snížení účinnosti při poklesu ozáření z 1000 na 200 W/m <sup>2</sup>	2,1%
Azimut FV panelu	35,0 °
Sklon FV panelu	40,0 °
Způsob instalace panelu	otevřená poloha (volná zadní strana)



Obr. 5.7. Sériové zapojení fotovoltaických panelů



Obr. 5.8. Umístění FV panelů na jižní straně střechy

### 5.3.2 Střídač

Fotovoltaické panely vyrábějí stejnosměrný průběh napětí. Běžné domácí spotřebiče pracují na střídavé napětí. Z tohoto důvodu je nutné pomocí střídače transformovat stejnosměrný průběh napětí na střídavý o hodnotě 230 V a 50 Hz. Při výběru střídače je nutné zvažovat tři důležitá kritéria, která mají vliv na ztráty způsobené zastíněním fotovoltaických panelů.

- Velký rozsah vstupního napětí střídače, které je dodávané fotovoltaickými panely umožňuje střídači při zastínění panelů a poklesu MPP (bod maximálního výkonu, který se mění v závislosti na okolní teplotě a intenzitě dopadající sluneční energie) napětí nastavovat optimální pracovní bod. [26]
- Střídače vybavené regulací jednotlivých stringů (řetězec propojených článků v serii) umožňují provoz v oblasti optimálního pracovního bodu a snižují tak ztráty. [26]
- Pro snížení ztrát zastíněním a zvýšení energetického výnosu se používá střídač, jenž je vybaven sledovačem MPP, který dokáže rozlišit více pracovních bodů. [26]

Pro navržený systém byl zvolen trojfázový hybridní měnič Fronius SYMO 3.0-3-S. Tento střídač je vybaven sledovačem MPP, který zajišťuje optimální nastavení pracovního bodu střídače při různé intenzitě slunečního záření, které dopadá na FV panely. Vhodný typ střídače byl navržen na základě výkonu dodávaného fotovoltaickými panely pomocí softwaru Fronius Solar.configurator, který dodává výrobce střídače Fronius. V tabulce 5.3. jsou uvedeny základní parametry střídače.



Obr. 5.9. Fronius SYMO 3.0-3-S [27]

Tabulka 5.3. Parametry hybridního měniče

Typ měniče	Fronius SYMO 3.0-3-S	
VSTUPNÍ DATA	Maximální DC výkon při $\cos \varphi=1$	3125 W
	Maximální vstupní proud	16 A
	Minimální vstupní napětí	150 V
	Nominální vstupní napětí	595 V
	Maximální vstupní napětí	1000 V
	MPP napěťový rozsah	200 - 800 V
VÝSTUPNÍ DATA	Nominální střídavý výkon	3000 W
	Maximální výstupní výkon	3000 VA
	Maximální výstupní proud	9 A
	Minimální výstupní napětí	184 V
	Maximální výstupní napětí	264 V
	Frekvence	50/60 Hz
VŠEOBECNÁ DATA	Koncept střídače	Bez transformátoru
	Maximální účinnost	98%

### 5.3.3 Fronius Smart Meter

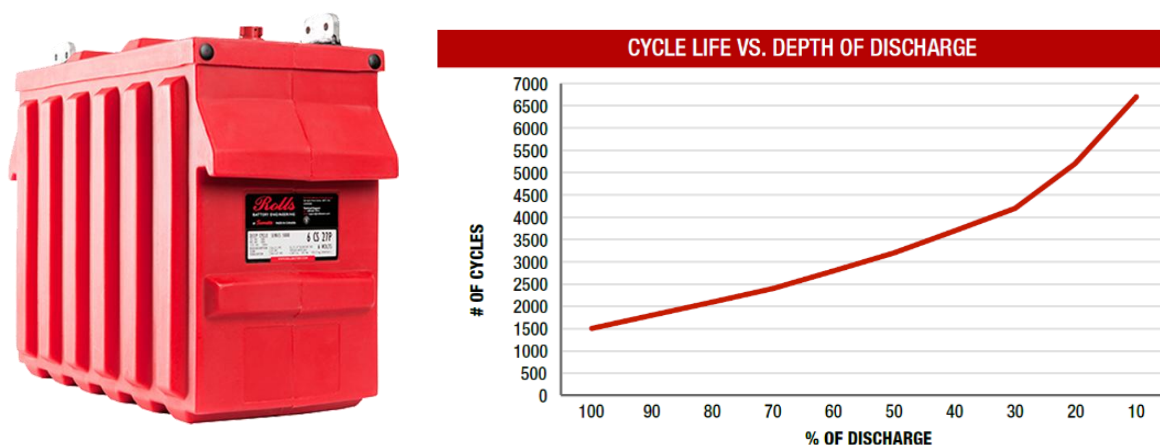
Fronius Smart Meter je obousměrný elektroměr. Slouží pro optimalizaci vlastní spotřeby elektrické energie a pro zaznamenání zatěžovací křivky v domácnosti. Komunikace se střídačem probíhá přes rozhraní Modbus RTU. Pomocí webového rozhraní umožňuje sledovat přehledné informace o dodávkách energie z distribuční soustavy.



Obr. 5.10. Fronius Smart Meter[29]

### 5.3.4 Akumulace energie

Pro akumulaci elektrické energie byly zvoleny akumulátory Rolls 6CS27P, které jsou speciálně vyrobeny pro fotovoltaické systémy. Akumulátor je řazen mezi otevřené baterie a obsahuje tekutý elektrolyt. Baterie není bezúdržbová a musí se tedy kontrolovat stav elektrolytu a případně doplnit destilovanou vodou. Výrobce akumulátorů se zabývá výrobou akumulátorů již od roku 1935 a zaměřuje se na vysoce cyklické akumulátory pro fotovoltaické systémy. Důležitým parametrem při výběru akumulátoru je závislost počtu nabíjecích cyklů na procentuelním vybíjení akumulátoru. Z této křivky lze určit přibližnou životnost použité baterie. Tato závislost je uvedena na obr. 5.10. Na tento typ akumulátoru poskytuje výrobce záruku 10 let. Při návrhu akumulátoru bylo uvažováno s přípustnou hloubkou vybíjení 60%, což podle výrobce vychází na životnost přibližně 2800 nabíjecích cyklů. Akumulátory jsou zapojeny do série a dosahují tak výsledného napětí 12V.



Obr. 5.10. ROLLS 6CS27P a závislost nabíjecích cyklů na hloubce vybíjení[30]

Tabulka 5.4. Parametry akumulátoru

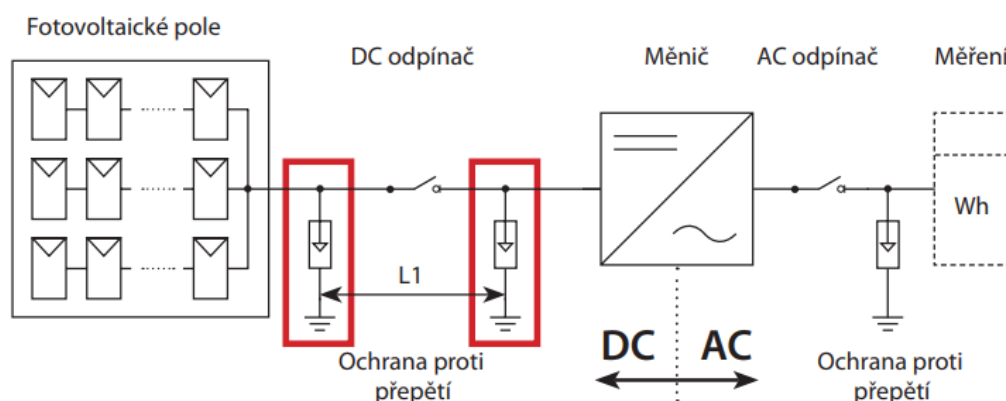
Typ akumulátoru	Rolls 6CS27P
Počet akumulátorů	2
Jmenovitá kapacita akumulátoru	1253 Ah
Jmenovité napětí akumulátoru	6 V
Přípustná hloubka vybíjení	60%
Celkové množství uložitelné elektrické energie	9 kWh

### 5.3.5 Svodiče přepětí

Svodiče přepětí chrání fotovoltaický systém před přímým a nepřímým úderem blesku. Na střeše rodinného domu je umístěn hromosvod, přesto je ale vhodné ochránit systém svodičem přepětí.

#### 5.3.5.1 Svodič přepětí na straně DC

Výrobci svodičů přepětí pro přímé nebo nepřímé údery blesků doporučují pro fotovoltaické systémy použít na DC straně jeden nebo dva ochranné prvky. Volba počtu svodičů přepětí je závislá na délce vedení mezi fotovoltaickými panely a střídačem. Pokud je vedení L1 kratší než 10 metrů, lze použít jeden svodič přepětí, který se může umístit k střídači nebo k fotovoltaickému poli. V případě, že vzdálenost je větší než 10 metrů, doporučuje výrobce použití dvou ochran. Navržený systém má tuto vzdálenost menší než 10 metrů a proto bude na DC straně u střídače umístěna jedna ochrana proti přepětí. Byl zvolen svodič přepětí OEZ SVC-DC-1170-3V-MZ.



Obr. 5.11. Umístění svodičů přepětí [31]

Tabulka 5.5 Parametry svodiče přepětí na straně DC

Typ svodiče přepětí DC	OEZ SVC-DC-1170-3V-MZ
Maximální napětí naprázdno	970 V
Nejvyšší trvalé provozní napětí	1170 V
Jmenovitý zatěžovací proud	80 A
Max. zkratový proud	300 A
Jmenovitý výbojový proud	15 kA
Max. výbojový proud	40 kA
Napěťová ochranná hladina	≤ 3.7 kV

### 5.3.5.2 Svodič přepětí na AC straně

Přepětíová ochrana na AC straně se umísťuje mezi přepínač na napájení z distribuční sítě a člen měřící elektrickou spotřebu. Zde byl zvolen svodič přepětí Ex9UE2 20 4P 275C.

Tabulka 5.6. Parametry svodiče přepětí na straně AC

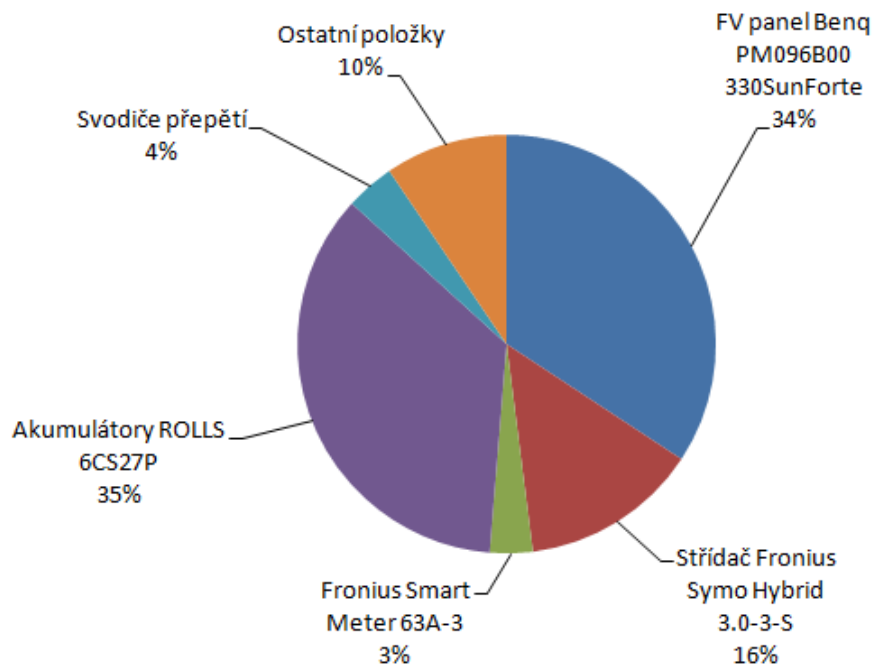
Typ svodiče přepětí AC	Ex9UE2 20 4P 275C
Jmenovitý svodový rázový proud	20 kA
Jmenovité napětí	275 V
Maximální trvalé napětí	275 V
Ochranná hladina L-N	1,4 kV

## 5.4 Ekonomické zhodnocení

V tabulce 5.7. jsou uvedeny jednotlivé položky navrženého fotovoltaického systému. Celková investice do systému je 185 350 Kč. Přičemž fotovoltaické panely a akumulátory tvoří přibližně dvě třetiny ceny celého systému. Další finančně nákladnou položkou je střídač.

Tabulka 5.7. Položky navrženého systému

Název položky	Počet kusů	Cena za 1 kus s DPH	Cena s DPH celkem
FV panel Benq PM096B00 330SunForte	9	7 346 Kč	66 114 Kč
Konstrukční set pro FV panely	9	1 058 Kč	9 522 Kč
Střídač Fronius Symo Hybrid 3.0-3-S	1	26 511 Kč	26 511 Kč
Fronius Smart Meter 63A-3	1	6 366 Kč	6 366 Kč
Akumulátory ROLLS 6CS27P	2	34 207 Kč	68 414 Kč
Svodič přepětí DC	1	4 933 Kč	4 933 Kč
Svodič přepětí AC	1	2 386 Kč	2 386 Kč
Solární kabel, průřez 4 mm <sup>2</sup> , délka 1 m	20	24 Kč	480 Kč
Kabel CYKY-J 5x4 mm <sup>2</sup> , délka 1 m	12	52 Kč	624 Kč
<b>Celková cena</b>			<b>185 350 Kč</b>



Obr. 5.12. Procentuální rozložení nákladů

Na navržený systém je možné čerpat dotaci Nová zelená úsporám, která v tomto případě dosahuje 70 000 Kč. Jelikož je systém provozován v režimu mikrozdroje, tak se neuplatňují na tento systém výkupní ceny ani zelené bonusy. Po získání dotace je cena systému 115 350 Kč.

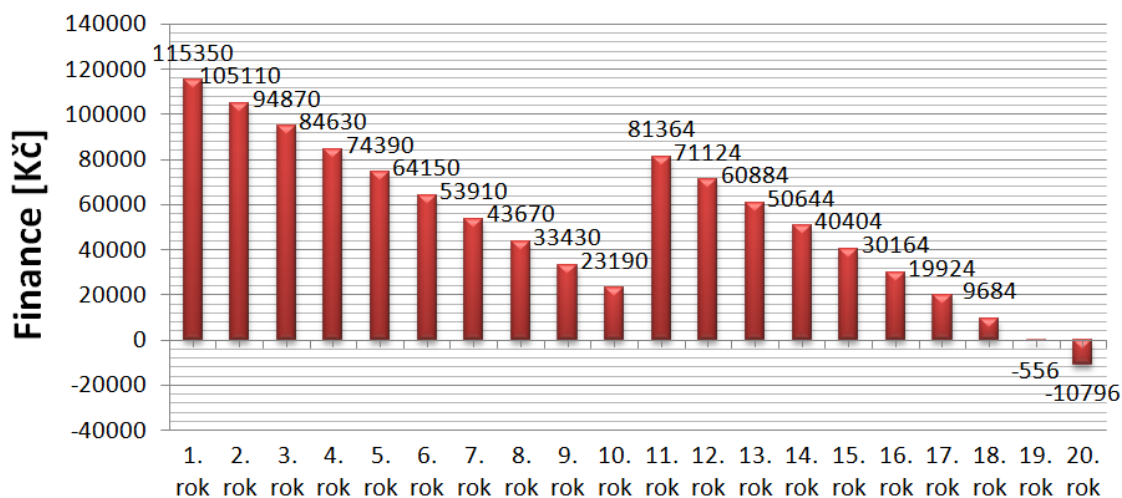
V domě je využívána distribuční sazba D02d. Cena za 1 kWh je 4,3 Kč. Pokud vynásobíme množství využité produkce v domě cenou za 1 kWh, tak získáme finanční úsporu. Tyto vzniklé úspory jsou uvedeny v tabulce 5.8. Za rok se díky vyrobené elektrické energii fotovoltaickým systémem uspoří přibližně 10 240 Kč. Tato hodnota je samozřejmě pouze orientační, jelikož využitá produkce energie v domě se během roku může měnit vlivem klimatických podmínek.



Tabulka 5.8. Vyrobená energie FV systémem během roku

Měsíc	Využitá produkce energie v domě [kWh]	Cena za 1 kWh z distribuční sítě	Finanční úspora
Leden	62,09	4,3 Kč	266,9 Kč
Únor	133,07		572,2 Kč
Březen	196,62		845,4 Kč
Duben	269,26		1157,8 Kč
Květen	303,56		1305,3 Kč
Červen	293,25		1260,9 Kč
Červenec	297,43		1278,9 Kč
Srpen	299,32		1287 Kč
Září	252,48		1085 Kč
Říjen	147,21		633 Kč
Listopad	64,11		275,6 Kč
Prosinec	63,27		272 Kč
<b>Celkem</b>	<b>2381,67</b>		<b>Celkem</b>

Na obrázku 5.13. je graficky znázorněna návratnost systému. V jedenáctém roce provozu je doporučeno zainvestovat do nákupu nových akumulátorů, proto se návratnost investice výrazně prodloužila. V devatenáctém roce se splatí investice do navrženého fotovoltaického systému. Je však nutné brát v úvahu, že v tomto období se budou muset pořídit nové akumulátory a také účinnost fotovoltaických panelů bude klesat. Návratnost investice je tak na hranici životnosti celého systému.



Obr. 5.13. Návratnost investice FV systému

## 6 Podíl obnovitelné energie dodané do domu

Podíl obnovitelné energie využívané v domě a energie dodávané do domu z distribuční sítě je přehledně znázorněn v tabulce 6.1. Z tabulky lze vidět, že navržený fotovoltaický systém produkuje nejvíce elektrické energie v období od března do září. Z důvodu provozování systému jako mikrozdroje se přebytečná energie nemůže dodávat do distribuční soustavy. Za dodání energie do distribuční soustavy se udělují pokuty. Teoretická přebytečná energie je v tabulce označena jako zmařená produkce a činí celkem 109 kWh. Roční spotřeba energie v budově je 4477 kWh a fotovoltaický systém za rok vyrobí přibližně 2891 kWh. V budově se využije přibližně 2381 kWh/rok. Důležitý údaj je míra využití produkce FV systému pro pokrytí potřeby elektřiny v budově, která dosahuje 82,4 %. V případě, že se chce využít dotace Nová zelená úsporám, je nutné, aby tato hodnota byla vyšší jak 70%. V případě, že je podmínka splněna jako v tomto případě, lze požádat o dotaci.

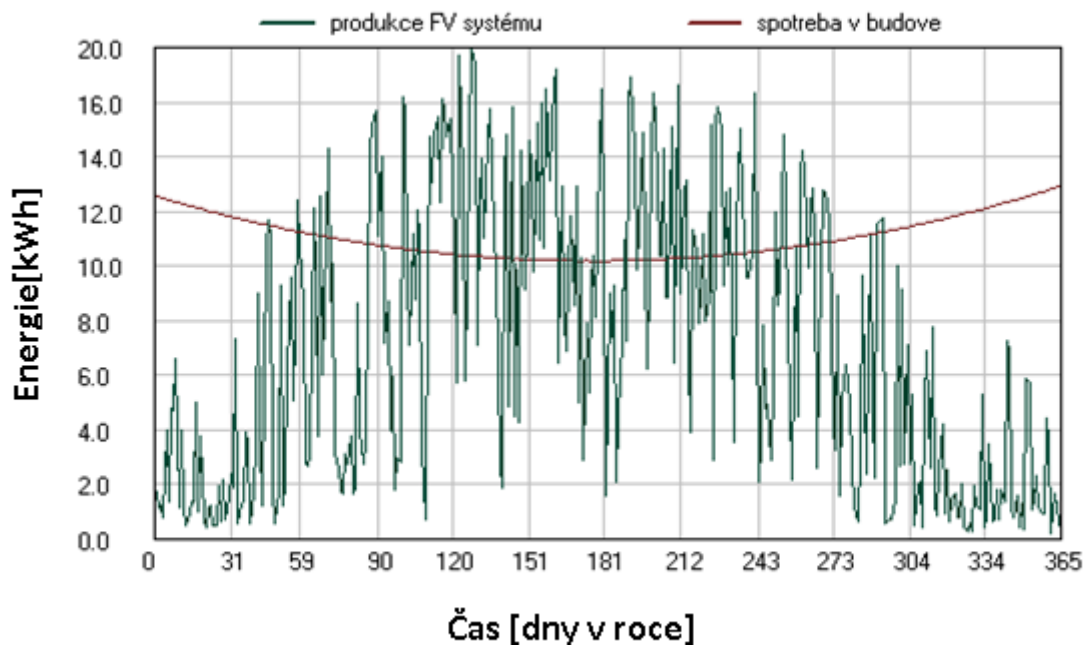
Tabulka 6.1. Parametry navrženého FV systému

Měsíc	Využitá produkce FV systému [kWh]	Zmařená produkce [kWh]	Odběr ze sítě [kWh]
Leden	62,09	0	356,69
Únor	133,07	0	224,64
Březen	196,62	4,65	181,38
Duben	269,26	23,71	83,1
Květen	303,56	22,85	51,64
Červen	293,25	27,31	46,6
Červenec	297,43	19,52	54,65
Srpen	299,32	10,19	58,76
Září	252,48	0,91	104,53
Říjen	147,21	0	237,46
Listopad	64,11	0	328,17
Prosinec	63,27	0	367,71
Celková roční produkce elektřiny FV systémem v budově:			2891,8 kWh/rok
<b>Roční využitelná produkce FV systému v budově:</b>			<b>2381,7 kWh/rok</b>
Roční zmařená produkce FV systému:			109,1 kWh/rok
Roční odběr elektřiny ze sítě:			2095,3 kWh/rok
Roční ztráta při ukládání elektřiny do akumulátoru:			401,0 kWh/rok
<b>Míra využití produkce FV systému pro krytí potřeby elektřiny v budově:</b>			<b>82,4%</b>

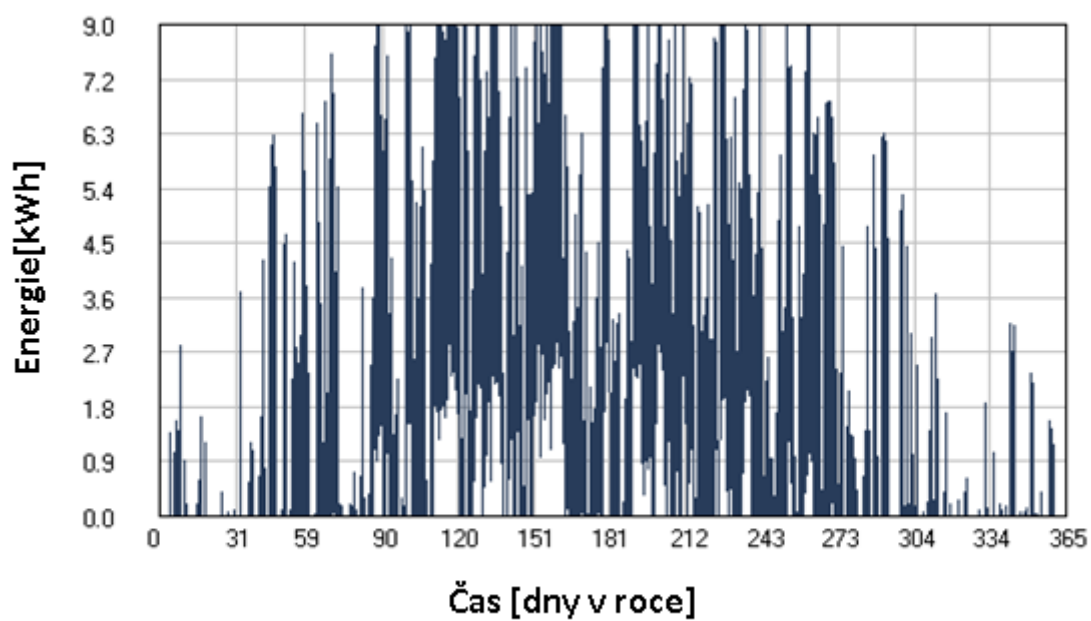
V následující tabulce 6.2. je pro názornost porovnána naměřená spotřeba elektrické energie během jednotlivých měsíců v roce a využitá produkce navrženým FV systémem. Na obrázku 6.1 je znázorněna produkce energie FV systému proložená křivkou spotřeby.

Tabulka 6.2. Přehled spotřeby a produkce energie

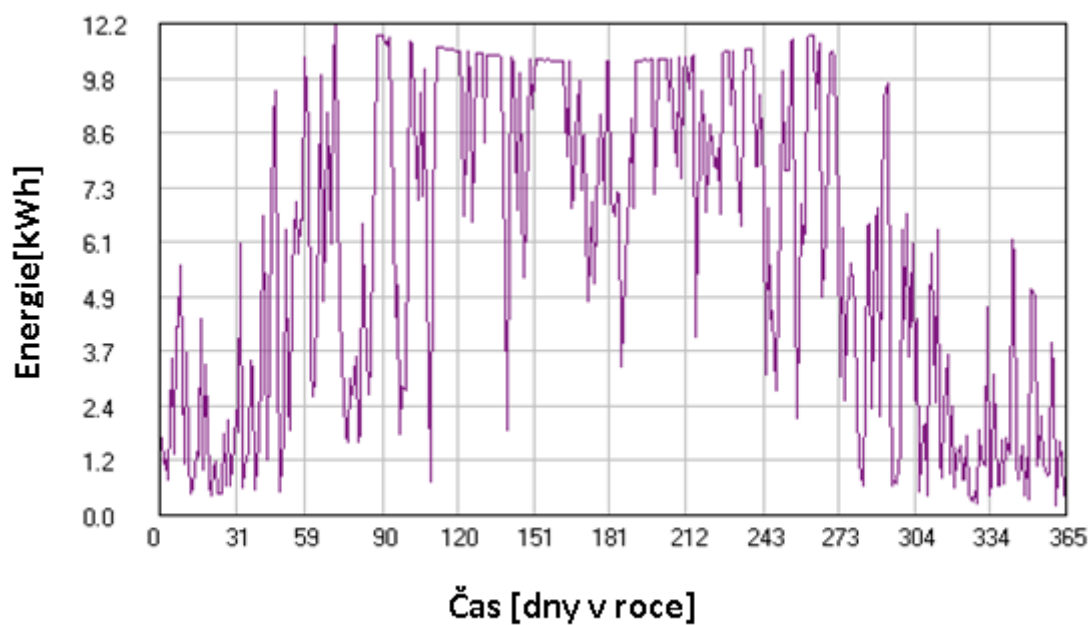
Měsíc	Spotřeba elektřiny v budově [kWh]	Využitá produkce FV systému [kWh]
Leden	418,79	62,09
Únor	357,71	133,07
Březen	378	196,62
Duben	352,36	269,26
Květen	355,2	303,56
Červen	339,85	293,25
Červenec	352,09	297,43
Srpen	358,07	299,32
Září	357,01	252,48
Říjen	384,67	147,21
Listopad	392,28	64,11
Prosinec	430,98	63,27



Obr. 6.1. Denní produkce FV systému a denní spotřeba elektřiny v budově



Obr. 6.2. Energie uložená v akumulátorech



Obr. 6.3. Denní využitelná produkce FV systému v budově

## Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout fotovoltaický systém pro rodinný dům včetně akumulace elektrické energie. Fotovoltaický systém je navržen pro provoz v režimu mikrozdroje. Režim mikrozdroje neumožňuje dodávat přebytečnou energii do distribuční sítě. Přínosem této diplomové práce byla práce s profesionálním nástrojem pro návrh fotovoltaického systému a seznámení s jednotlivými periferiemi systému.

První kapitola se zabývá fotovoltaickými články. Řeší jejich výrobu a pozitivní či negativní vlastnosti jednotlivých technologií.

Ve druhé kapitole jsou uvedeny ostrovní fotovoltaické systémy a systémy připojené na distribuční síť. Jsou zde uvedeny výhody jednotlivých systémů a jejich místo využití. Dále jsou v této kapitole také přehledná bloková schémata zapojení jednotlivých systémů.

Třetí kapitola je zaměřena na využití fotovoltaických systémů v České republice. Jsou zde probrány aktuální legislativní povinnosti z novelizace energetického zákona, která proběhla v roce 2016. V této kapitole jsou podrobně popsány aktuální možnosti čerpání dotací z Nové zelené úsporám.

Čtvrtá kapitola je věnována analýze spotřebované energie v domě. Jsou zde přehledně popsány denně využívané spotřebiče a jejich vyhodnocení vlivu na celkovou spotřebu energií v domácnosti. Dále jsou navržena některá opatření, která by mohla vést ke snížení energetických potřeb v domě.

Kapitola číslo pět se zabývá samotným návrhem fotovoltaického systému v softwaru Energie 2016. Obsahuje schéma zapojení fotovoltaického systému a důležité parametry jednotlivých komponent navrženého FV systému. Závěr této kapitoly se věnuje ekonomickému zhodnocení a návratnosti investice do systému.

V závěru diplomové práce je zhodnoceno množství dodávané energie fotovoltaickým systémem, které je porovnáno s naměřenou spotřebou elektrické energie dodané do domu z distribuční soustavy během roku.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] *Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaice* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaice>
- [2] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika: elektřina ze slunce*. 2. vyd. Praha: EkoWATT, 2008. 21. století. ISBN 978-80-7366-133-5.
- [3] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [4] *Photovoltaic systems* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: [http://www.kimiagarana-energy.com/Free\\_Download/Renewable\\_Energy/Book\\_PV\\_1.pdf](http://www.kimiagarana-energy.com/Free_Download/Renewable_Energy/Book_PV_1.pdf)
- [5] *Photovoltaic hybrid systems* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <http://www.pvresources.com/en/pvpowerplants/pvhybrid.php>
- [6] *Ostrovní fotovoltaické systémy* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <http://www.enerfinplus.cz/ostrovni-systemy.html>
- [7] *Jaké akumulátory použít* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.deramax.cz/7-jake-akumulatory-pouzit-7-dil-ze-serialu-clanku>
- [8] *Technologie* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <http://www.isolar.cz/technologie.html>
- [9] *Solární baterie a systémy* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.bch-battery.cz/battery-charger/eshop/2-1-SOLARNI-Baterie-a-systemy/332-2-LiFePO4-baterie>
- [10] *What are ultracapacitor?* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.skeletontech.com/ultracapacitor-technology>
- [11] *Síťové elektrárny On-GRID* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <http://www.sticka.cz/kategorie/sitove-elektrarny-on-grid/>
- [12] *Grid connected PV system* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/grid-connected-pv-system.html>
- [13] *Solární energetika v České republice* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/10-limberk.pdf>
- [14] *Teorie fotovoltaiky* [online]. [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/fotovoltaika.aspx>
- [15] *Obecně o fotovoltaice* [online]. [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: [http://www.tridas-tech.cz/category61\\_obecne-o-fotovoltaice](http://www.tridas-tech.cz/category61_obecne-o-fotovoltaice)
- [16] *Možnosti připojení domácí elektrárny v roce 2016* [online]. [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13918-moznosti-pripojeni-domaci-elektrarny-v-roce-2016>
- [17] *Energie z obnovitelných zdrojů* [online]. [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: [http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/cs/displayFtu.html?ftuId=FTU\\_2.4.9.html](http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/cs/displayFtu.html?ftuId=FTU_2.4.9.html)
- [18] *ERÚ - Cenová rozhodnutí* [online]. [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/poze/cenova-rozhodnuti>
- [19] *ERÚ - Často kladené dotazy* [online]. [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/poze/casto-kladene-dotazy>
- [20] *FOTOVOLTAIKA* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/4831759-Fotovoltaika-mgr-jiri-petera-mgr-jan-herman.html>

- [21] *Global irradiation and solar electricity potential* [online]. [cit. 2018-05-12].  
Dostupné z: [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_download/map\\_pdfs/G\\_opt\\_CZ.png](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_pdfs/G_opt_CZ.png)
- [22] *Dotace na solární panely 2018* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z:  
<https://www.prispevky.cz/zelena-usporam/solarni-panely>
- [23] *Ekologické hříchy a naděje fotovoltaické energie* [online]. [cit. 2018-05-12].  
Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/ekologicke-hrichy-a-nadeje-fotovoltaicke-energie>
- [24] *Ekologická likvidace a recyklace solárních panelů* [online]. [cit. 2018-05-12].  
Dostupné z: <http://www.sroty.cz/ekologicka-likvidace-a-recyklace-solarnich-panelu>
- [25] *Katastrální mapy* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z:  
<http://katastralnimapy.cuzk.cz/>
- [26] *Řízení zastínění* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z:  
<http://files.sma.de/dl/7418/GlobalPeak-TI-cs-12.pdf>
- [27] *Střídač - měnič Fronius Symo 3.0-3-S* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z:  
<http://shop.solarpartner.cz/stridac-menic-fronius-symo-3-0-3-s>
- [28] *Solární panel Benq SunForte* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z:  
<https://shop.iftech.cz/solarni-panely/448-solarni-panel-benq-sunforte-330wp-mono.html>
- [29] *Fronius Smart Meter* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z:  
<http://eshop.terms.eu/cz/e-shop/1246458/c69146-fv-stridace-a-nabijece/fronius-smart-meter.html>
- [30] *Rolls 6CS27P* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z:  
[https://eshop.neosolar.cz/images\\_content/1127/4684-O-rolls-6cs27p-datasheet.pdf](https://eshop.neosolar.cz/images_content/1127/4684-O-rolls-6cs27p-datasheet.pdf)
- [31] *Přepěťové ochrany pro stejnosměrné aplikace* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z:  
[http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/svbc-dc-svc-dc-mi01-2017\\_cz\\_sk.pdf](http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/svbc-dc-svc-dc-mi01-2017_cz_sk.pdf)