



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY S BATERIOVÝM ÚLOŽIŠTĚM PRO RODINNÝ DŮM

DESIGN OF A PHOTOVOLTAIC POWER PLANT WITH BATTERY STORAGE FOR A
FAMILY HOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Pavlíček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

BRNO 2019



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Mikroelektronika a technologie**
Ústav elektrotechnologie

Student: Michal Pavlíček

ID: 174371

Ročník: 3

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s principem fotovoltaického děje a proveďte analýzu a rozbor používaných FV technologií pro výrobu FV článků. Proveďte rozbor technologií pro akumulátorové úložiště dle parametrů jednotlivých typů baterií. Zaměřte se na vyhodnocení trhu v ČR (výhody, dotace, podmínky, legislativa). V praktické části práce navrhnete řešení FVE + bateriové úložiště pro rodinný dům dle konkrétního zadání.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 30.5.2019

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro domácnost. V teoretické části je zprvu rozebrán princip a vysvětlení funkce fotovoltaických článků a akumulátorů. Práce se dále zabývá popisem fotovoltaických systémů a systémem akumulace energie v akumulátorech. V závěrečné části je rozebrán samotný systém i s legislativními podmínkami. V praktické části práce je navržena samotná fotovoltaická elektrárna s bateriovým úložištěm pro domácnost a její ekonomické zhodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA: fotovoltaika; fotovoltaický článek; PN přechod; sluneční záření; fotovoltaický systém; akumulátor; střídač;

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design of a photovoltaic power plant with a battery storage for household purposes. In the theoretical part are mentioned principles and explanation of the function of photovoltaic cells and accumulators. The thesis also deals with the description of photovoltaic systems and the system of accumulation of energy in accumulators. In the final part are the system and legislative conditions analyzed. In the practical part, the photovoltaic power plant with battery storage for the home and its economic evaluation is proposed.

KEYWORDS: photovoltaic; photovoltaic cell; PN transition; sunshine; photovoltaic system; accumulator; inverter;

Bibliografická citace práce:

PAVLÍČEK, Michal. *Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro rodinný dům* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119456>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie. Vedoucí práce Jiří Vaněk.

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Návrh fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro domácnost* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne: 23.5.2019

.....

Poděkování

Touto cestou chci poděkovat vedoucímu své bakalářské práce za cenné rady a připomínky. Dále chci poděkovat panu Bednarčíkovi za jeho ochotu a poskytnuté rady při psaní mé bakalářské práce.

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| SEZNAM OBRÁZKŮ..... | 8 |
| SEZNAM TABULEK | 9 |
| 1 ÚVOD..... | 10 |
| 2 FOTOVOLTAIKA..... | 11 |
| 2.1 PRINCIP FUNKCE FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU | 11 |
| 2.2 PN PŘECHOD | 13 |
| 3 KONVERZE ENERGIE VE FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNCÍCH..... | 14 |
| 3.1 ROZDĚLENÍ SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ..... | 14 |
| 3.2 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ V ČESKÉ REPUBLICE..... | 15 |
| 4 DRUHY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ | 17 |
| 4.1 PRVNÍ GENERACE FV ČLÁNKŮ..... | 17 |
| 4.2 DRUHÁ GENERACE FV ČLÁNKŮ | 17 |
| 4.3 TŘETÍ GENERACE FV ČLÁNKŮ | 17 |
| 5 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY | 19 |
| 5.1 ON-GRID..... | 19 |
| 5.2 OFF-GRID..... | 19 |
| 5.3 S BATERIOVÝM ÚLOŽIŠTĚM | 19 |
| 6 BATERIOVÉ ÚLOŽIŠTĚ..... | 20 |
| 6.1 ELEKTROCHEMICKÉ ČLÁNKY | 20 |
| 6.2 ELEKTROLYT..... | 21 |
| 6.3 PRINCIP ELEKTROCHEMICKÝCH ČLÁNKŮ | 21 |
| 6.4 AKUMULÁTOR | 22 |
| 6.5 POROVNÁNÍ POUŽÍVANÝCH DRUHŮ AKUMULÁTORŮ..... | 22 |
| 6.5.1 OLOVĚNÝ | 22 |
| 6.5.2 NiCd | 23 |
| 6.5.3 NiMH..... | 23 |
| 6.5.4 NiZn | 23 |
| 6.5.5 Li-Ion | 23 |
| 6.5.6 LiFePO ₄ | 23 |
| 7 SYSTÉM FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY..... | 24 |
| 7.1 FOTOVOLTAICKÉ PANELY | 24 |
| 7.2 STRÍDAČ..... | 25 |
| 7.3 DOMOVNÍ ROZVADĚČ | 26 |

| | |
|--|-----------|
| 8 LEGISLATIVA | 27 |
| 8.1 ENERGETICKÝ ZÁKON | 27 |
| 8.2 ZÁKON O PODPOROVANÝCH ZDROJÍCH ENERGIE | 27 |
| 8.3 VÝKUP ELEKTRICKÉ ENERGIE | 27 |
| 8.4 NOVÁ ZELENÁ ÚSPORÁM | 27 |
| 8.4.1 OBLASTI PODPORY | 28 |
| 8.4.2 OBLAST PODPORY C | 28 |
| 9 NÁVRH SYSTÉMU | 31 |
| 9.1 ZADÁNÍ PRÁCE | 31 |
| 9.2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE | 31 |
| 9.3 VOLBA PANELŮ..... | 32 |
| 9.3.1 CELKOVÁ PLOCHA PANELŮ..... | 33 |
| 9.3.2 ROZLOŽENÍ PANELŮ NA STŘEŠE..... | 34 |
| 9.3.3 MONTÁŽ PANELŮ | 35 |
| 9.4 VOLBA STRÍDAČE | 36 |
| 9.5 NÁVRH BATERIÍ..... | 37 |
| 9.6 ZAPOJENÍ SYSTÉMU | 38 |
| 9.7 VYČÍSLLENÍ NÁKLADŮ A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ..... | 41 |
| 9.7.1 POSTUP PRO ZÍSKÁNÍ DOTACE..... | 42 |
| 9.7.2 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ..... | 43 |
| 10 ZÁVĚR..... | 46 |
| POUŽITÁ LITERATURA | 48 |
| PŘÍLOHY | 52 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|-----------|
| <i>Obr. 2-1 Fotovoltaický článek</i> | <i>11</i> |
| <i>Obr. 2-2 Princip funkce fotovoltaického článku</i> | <i>12</i> |
| <i>Obr. 2-3 Princip fotoelektrického jevu</i> | <i>12</i> |
| <i>Obr. 2-4 Princip funkce PN přechodu</i> | <i>13</i> |
| <i>Obr. 3-1 Znázornění slunečního spektra po průchodu záření atmosférou</i> | <i>14</i> |
| <i>Obr. 3-2 Změna sluneční konstanty</i> | <i>15</i> |
| <i>Obr. 3-3 Rozdíl mezi přímým a difúzním zářením</i> | <i>15</i> |
| <i>Obr. 3-4 Sluneční záření v České Republice [Wh/m²]</i> | <i>16</i> |
| <i>Obr. 6-1 Akumulátorová sestava Fronius pro fotovoltaické elektrárny</i> | <i>20</i> |
| <i>Obr. 6-2 Princip elektrochemického článku</i> | <i>21</i> |
| <i>Obr. 7-1 Systém fotovoltaické elektrárny s akumulacním úložištěm pro domácnost</i> | <i>24</i> |
| <i>Obr. 9-1 Půdorys střechy</i> | <i>31</i> |
| <i>Obr. 9-2 Profil spotřeby energie</i> | <i>32</i> |
| <i>Obr. 9-3 Rozložení panelů na střeše PVSOL</i> | <i>34</i> |
| <i>Obr. 9-4 Působení stínu PVSOL.....</i> | <i>35</i> |
| <i>Obr. 9-5 Montážní systém pro šikmé střechy</i> | <i>35</i> |
| <i>Obr. 9-6 Zapojení systému fotovoltaické elektrárny</i> | <i>38</i> |
| <i>Obr. 9-7 Zapojení fotovoltaických panelů.....</i> | <i>38</i> |
| <i>Obr. 9-8 Graf návratnosti investice</i> | <i>44</i> |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|-----------|
| <i>Tab. 6-1 Porovnání používaných druhů akumulátorů</i> | <i>22</i> |
| <i>Tab. 8-1 Výše dotace za instalovaný systém</i> | <i>29</i> |
| <i>Tab. 9-1 Specifikace použitých FV panelů</i> | <i>33</i> |
| <i>Tab. 9-2 Specifikace použitého střídače</i> | <i>36</i> |
| <i>Tab. 9-3 Specifikace použité baterie</i> | <i>37</i> |
| <i>Tab. 9-4 Specifikace použitých pojistek</i> | <i>39</i> |
| <i>Tab. 9-5 Specifikace použitých jističů</i> | <i>40</i> |
| <i>Tab. 9-6 Specifikace použité přepětové ochrany</i> | <i>41</i> |
| <i>Tab. 9-7 Vyčíslení ceny fotovoltaické elektrárny</i> | <i>42</i> |
| <i>Tab. 9-8 Podmínky dotačního programu</i> | <i>42</i> |
| <i>Tab. 9-9 Výpočet návratnosti investice</i> | <i>45</i> |

1 ÚVOD

Obnovitelné zdroje elektrické energie v dnešní době představují již podstatnou část celosvětové výroby. V prvopočátcích byla myšlenka pořízení vlastní fotovoltaické elektrárny pro napájení rodinného domu s akumulací energie nedostupná a hlavně drahá. Postupem času se do podpory tohoto obnovitelného zdroje vmísil stát, pomocí dotačních programů a nastavených vysokých výkupních cen elektřiny, mnoho usnadnil a technologie se stala dostupnou a více rozšiřovanou. Nyní je technologie na vysoké úrovni a za pomoci dotačního programu „Nová zelená úsporám“ běžně dostupná většině obyvatel. Díky zákonu o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů OZE z roku 2005 byla zaznamenána vysoká výstavba fotovoltaických elektráren, převážně na zemědělské půdě. Podpora OZE zaručovala tzv. Zelený bonus, nebo vysoké výkupní ceny pro majitele fotovoltaických elektráren. Toto znamenalo velký rozmach fotovoltaických elektráren. Tento zákon byl pro nové instalace zastaven koncem roku 2012. V roce 2014 odstartovala podpora pro výstavbu elektráren na střechách domácností. Zavedení nového programu „Nová zelená úsporám“ znamenalo státní podporu na výstavbu domácí elektrárny, nikoli na výkup energie, jak tomu bylo v dřívějších letech.

Na území České republiky jsou podmínky pro sluneční elektrárny dobré. Tento druh elektráren je spíše budován v jižnějších státech nebo pouštích, kde je slunečního záření více. Česká Republika leží uprostřed Evropy a průměrná hodnota intenzity slunečního záření je zde pro provoz elektráren v porovnání s jižními státy spíše průměrná. Ale i s těmito hodnotami jsou dnešní fotovoltaické články schopny vyrobit dostatek elektrické energie.

V úvodu této bakalářské práce bych se chtěl zmínit o počátcích vývoje a výzkumu článků. Jako další částí bude popsán princip funkce fotovoltaického článku a s ním spojenými fyzikálními jevy, jako je PN přechod. Následovat bude kapitola, ve které bude rozebrána konverze energie ve fotovoltaických článcích s druhy slunečního záření a popis slunečních podmínek v ČR. Poté bude kapitola, která se zabývá druhy fotovoltaických článků, akumulátorů a bateriovým úložištěm. V neposlední řadě bude samotný popis systému fotovoltaické elektrárny. V předposlední kapitole bude zmíněna legislativa, dotační podmínky a dotační program „Nová zelená úsporám“. Poslední kapitola práce bude praktický návrh systému fotovoltaické elektrárny pro domácnost s využitím bateriového úložiště. Návrh FVE bude realizován pomocí počítačového simulačního programu PVSOL. Samotné komponenty budou popsány z hlediska vlastností a důvodu volby daného komponentu. Celý systém bude ekonomicky popsán a zhodnocen. Výsledkem práce bude model fotovoltaické elektrárny, kterou lze využít pro domácnost.

2 FOTOVOLTAIKA

Historie prvních experimentů je datována od roku 1839, kdy francouzský fyzik Becquerel pozoroval fotoelektrický jev. Experimentální článek byl založen na dvou kovových elektrodách ponořených do elektrolytu. [1]

Vývoj vůbec prvního pevného fotovoltaického článku je zaznamenán v roce 1877, kdy jej pánové Adams a Daym vyrobili ze selenu. Již v roce 1883 měl článek vyvinutý panem Frittsem účinnost okolo 1%. Na dalším vývoji technologie fotovoltaických článků mělo zásadní vliv objasnění principu fotoelektrického jevu Albertem Einsteinem, který za tento objev byl v roce 1921 oceněn Nobelovou cenou. Pro výrobu moderních článků se zasloužil Jan Czocharalski, který vynalezl metodu výroby čistého monokrystalu křemíku. [1]

Termínem fotovoltaika rozumíme metodu přímé přeměny energie slunce (slunečního záření) na energii elektrickou, konkrétně na elektřinu stejnosměrného charakteru. K přeměně z jednoho typu energie na druhý dochází díky fotoelektrickému jevu. Elektronická součástka schopná využitím fotoelektrického jevu, vytvořit elektrickou energii se nazývá fotodioda. [1]

Jednotlivé fotodiody jsou spojovány do větších celků, které nazýváme fotovoltaické články. Tyto články jsou potom dále spojovány do celků tzv. panelů. Prvotním využitím panelů, jako zdrojů elektrické energie, byla kosmonautika. Články se využívaly a nadále využívají pro napájení satelitů a družic. Pro komerční účely se články začaly využívat jako zdroje energie pro kalkulačky, hodinky a drobnou elektroniku. [1]

Masivní rozvoj této technologie byl spuštěn v roce 1973, kdy byla pro rozvoj startérem ropná krize. Výroba a vývoj nových moderních článků započal až v několika posledních letech, kdy se díky dotacím a snaze stále více využívat obnovitelné zdroje energie, do těchto systémů investuje více financí. Pro další vývoj civilizace budou tyto systémy zcela zásadní. [1]



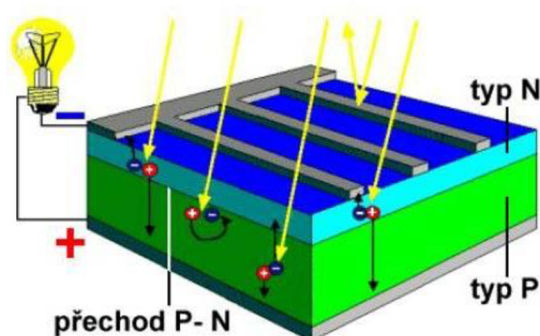
Obr. 2-1 Fotovoltaický článek [2]

2.1 Princip funkce fotovoltaického článku

Fotovoltaický článek pracuje na principu fotoelektrického jevu. Při tomto jevu jsou v důsledku absorpce elektromagnetického záření, látkou uvolňovány elektrony. Absorpce je způsobena díky interakci světla (fotonů) a částic hmoty (elektronů a jader). [3]

Pro správnou funkci článku je důležitá podmínka, aby foton slunečního záření v látce uvolnil elektron a mohl tak vzniknout pár elektron - díra. Pro vznik páru elektron - díra využíváme polovodičů. U polovodičů jsou elektrony a díry díky vnitřnímu elektrickému poli PN přechodu separovány. Nevhodné pro účely fotovoltaického článku je použití kovů, protože u kovů dochází k okamžité rekombinaci (vznik nežádoucího tepla), které musíme zabránit. [3]

Článek je složený z elektronově vodivé vrstvy (materiál typu N - křemík s příměsí fosforu) a z vrstvy mající děrovou vodivost (materiál typu P - křemík s příměsí boru). Na PN přechodu se elektrony a díry oddělí a na kontaktních místech vygenerují napětí. Po připojení spotřebiče, protéká spotřebičem elektrický proud. [4]

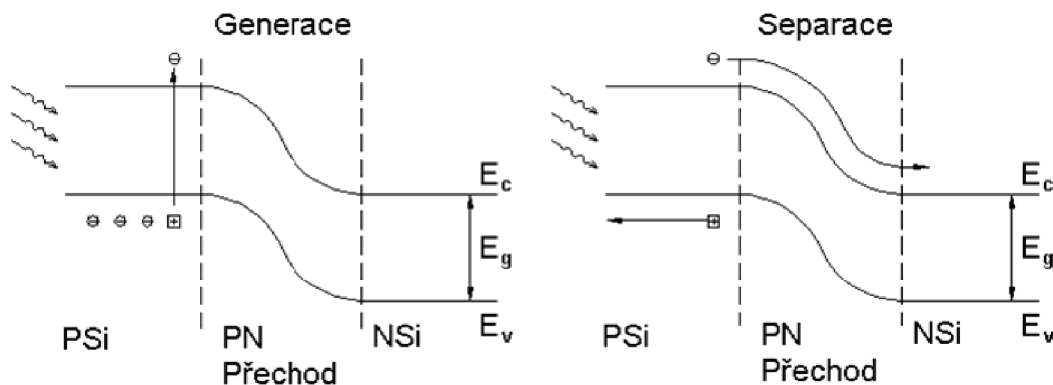


Obr. 2-2 Princip funkce fotovoltaického článku [5]

Fotovoltaický článek je sestava mnoha diod využívající principu PN přechodu. Pro splnění základní funkce fotoelektrického jevu musí být splněny tyto podmínky:

- foton musí být pohlcen,
- foton musí excitovat elektron do vyššího vodivostního pásu,
- separace vzniklé dvojice elektron - díra, aby se znovu nespojila,
- oddělené náboje odvést ke spotřebiči.

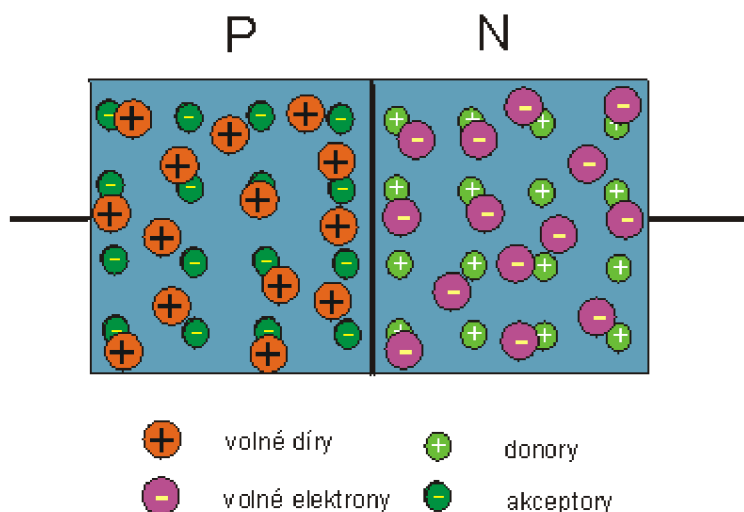
Na obrázku 2-3 je znázorněn základní princip fotoelektrického jevu.



Obr. 2-3 Princip fotoelektrického jevu [1]

2.2 PN přechod

Polovodiče dělíme podle typu na typ P a N. V příměsovém polovodiči P se nachází přebytek kladných děr a v polovodiči typu N se nachází přebytek valenčních elektronů. Po propojení díry a elektronu dojde k rekombinaci (zaniknou volné nosiče náboje) a dojde ke vzniku vyprázdněné (depletační) oblasti. Rozšiřování vyprázdněné oblasti zabrání kladné (donory) a záporné (akceptory) iontů, které vzniknou díky pevně vázaným díram a elektronům krystalové struktury křemíku. Ostatní nepohyblivé ionty vytvoří elektrické pole PN přechodu. Směr pohybu je dán a to tak, že brání zbylým volným nosičům pronikat skrze přechod. Vnitřní elektrické pole působí jako potenciálová bariéra, která brání difúznímu pohybu majoritních nosičů, tzn. díra z oblasti P do N a elektron z oblasti N do P. Minoritní nosiče se mohou volně pohybovat skrze potenciálovou bariéru a vytváří driftové proudy. [3]

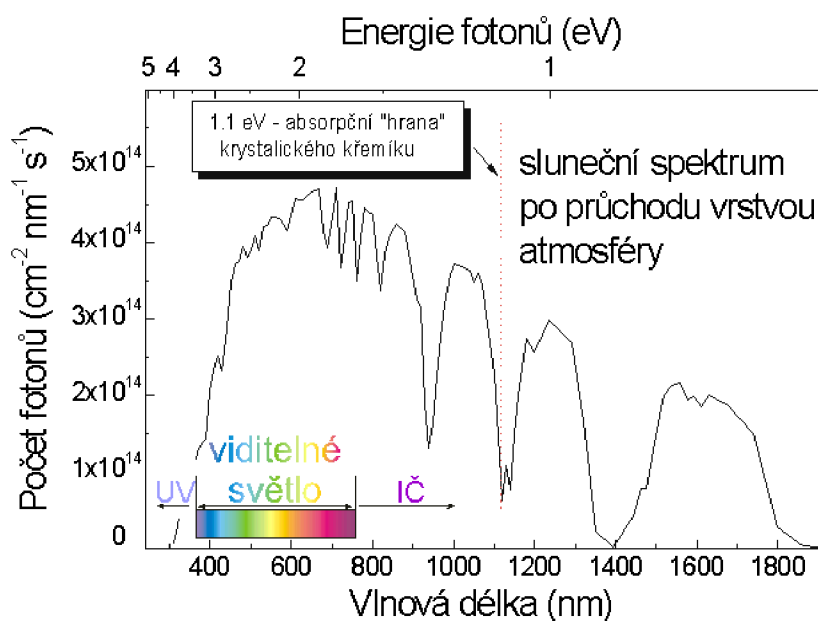


Obr. 2-4 Princip funkce PN přechodu [6]

3 KONVERZE ENERGIE VE FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNCÍCH

Ze základních principů vyplývá, že základním zdrojem energie fotovoltaických článků je světelný sluneční paprsek. Sluneční záření řadíme mezi jeden z nejdostupnějších a nejčistších zdrojů energie. Slunce vyzařuje záření v celém rozsahu spektra od záření rentgenových délek až po záření délek rádiových.

Nejběžnějším zářením je záření infračervené, které se pohybuje v rozmezí 760 nm - 1 mm. Záření s kratší vlnovou délkou je nazýváno ultrafialové. Lidské oko je schopno vnímat záření o vlnové délkách 380 nm - 760 nm. Slunce je hvězda tvořená žhavým plazmatem produkující velké množství energie. Složení slunce je spíše plynné a je tvořené přibližně ze 75% vodíkem a 25% heliem. Povrchová teplota slunce je 5800 K a tato teplota dodává slunci výkon okolo 4×10^{26} W, ale z této hodnoty na Zemi dopadá pouze 45 miliardtin. Pro správnou funkčnost fotovoltaického systému je důležitá intenzita slunečního záření, složení a doba působení.[1] [7]

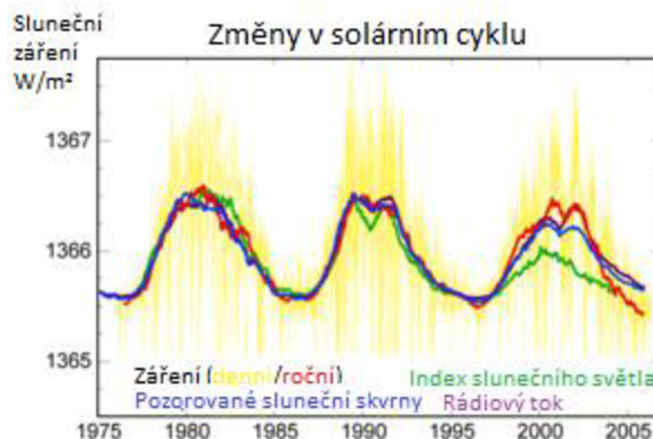


Obr. 3-1 Znázornění slunečního spektra po průchodu záření atmosférou [8]

3.1 Rozdělení slunečního záření

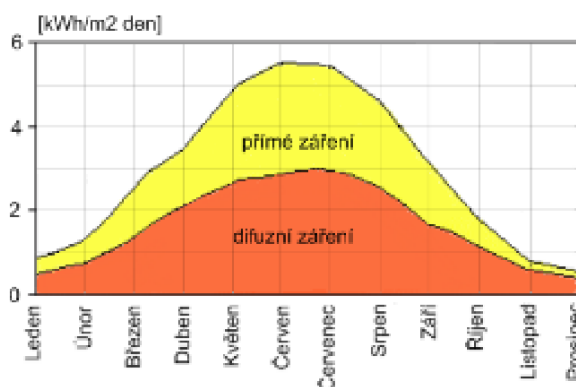
- přímé – záření, které na jasné a bezmračné obloze dopadá přímo na zemský povrch a jeho intenzita je udána solární konstantou. [9]

Solární konstanta je tok sluneční energie procházející plochou 1 m², která je kolmá ke směru paprsků po dobu 1 s ve střední vzdálenosti Země od Slunce. Vlivem excentrické oběžné dráhy Země tato konstanta mírně během ročních období kolísá. Její hodnota se pohybuje okolo 1348,3 W/m². [9]



Obr. 3-2 Změna sluneční konstanty [9]

- difúzní – je záření vzniklé rozptylem přímého záření v mracích a částech atmosféry. Toto záření na Zemi dopadá ze všech směrů. Součtem intenzit přímého a difúzního záření získáme globální sluneční záření. [9]

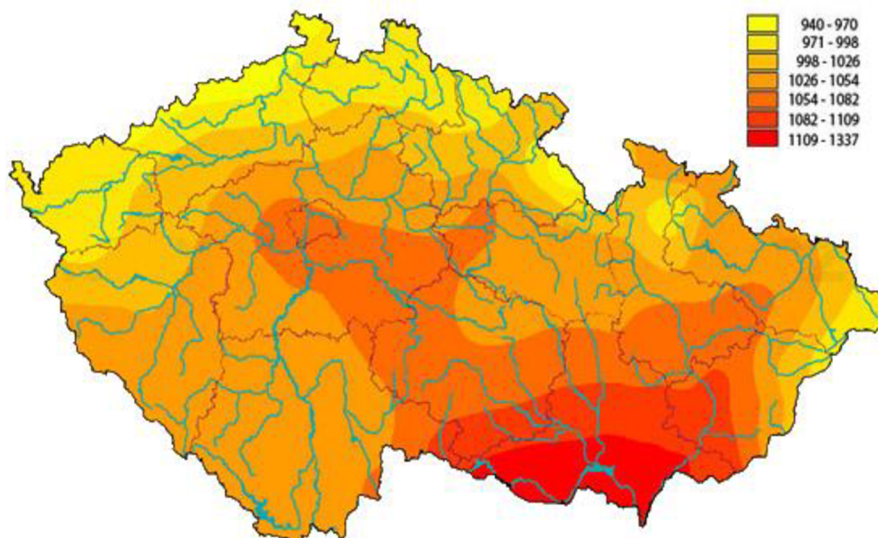


Obr. 3-3 Rozdíl mezi přímým a difúzním zářením [7]

3.2 Sluneční záření v České republice

Česká republika svojí polohou leží téměř uprostřed Evropy. Střední Evropa dosahuje v množství dopadajícího slunečního záření, k průměrným hodnotám. Roční úhrn intenzity slunečního záření dosahuje hodnot v rozmezí od 900 - 1200 kWh/m². Podmínky v ČR jsou pro fotovoltaické elektrárny dobré. Celková doba slunečního svitu bez oblačnosti se pohybuje v rozmezí 1400-1700 hodin za rok. [7]

Mapa globálního slunečního záření znázorňuje vhodnost využití fotovoltaických článků. Znázornění intenzity slunečního záření v oblasti ČR vyplývá z dlouhodobých meteorologických měření. Konkrétně za posledních 50let. [7]



Obr. 3-4 Sluneční záření v České Republice [Wh/m2] [7]

Z mapy je dobře viditelné, že nejvyšších hodnot slunečního svitu je dosahováno v oblastech Jihomoravského kraje.

4 DRUHY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ

4.1 První generace FV článků

Dnes nejrozšířenější články využívají jako základ křemíkových desek. Na dnešním trhu zabírají okolo 90% poptávky. Tyto články dosahují poměrně vysoké účinnosti. U sériové výroby se účinnost pohybuje mezi 16% až 19% a v případě speciálních struktur až 24%. Jako základní materiál je použit krystalický křemík. Mezi zástupce patří monokrystalický a polykrystalický článek. [4]

- Monokrystalický článek - větší výtěžnost výkonu ze stejné plochy kvůli větší účinnosti článků.
- Polykrystalický - zvýšená výtěžnost výkonu plynoucí z výroby energie z rozptýleného světla při nepříznivých světelných podmínkách.

4.2 Druhá generace FV článků

Základním kamenem pro rozvoj druhé generace článků bylo především snížení spotřeby drahého materiálu a výrobních nákladů. Články druhé generace se oproti první generaci vyznačují tenčí aktivní absorpční polovodičovou vrstvou (tzv. thin film). Úsporou materiálu bylo docíleno ke snížení výrobních nákladů, nicméně dosahovaná účinnost je v sériové výrobě do 10%. Výhodou thin film článků je možnost volby substrátu a při použití flexibilních materiálů využít i širší aplikační sféru. Jako materiál pro výrobu je využíváno mikrokrytalického křemíku. Významný zástupce pro výrobu článků je amorfni křemík. Tyto články se hojně využívají k napájení kalkulaček a dalších nízko výkonových aplikací.[4]

4.3 Třetí generace FV článků

Články tzv. fotovoltaické revoluce. Hlavním cílem článků je maximalizovat počet absorbovaných fotonů, počet generovaných párů (proudový zisk) a dále využití maximální energie dopadajících fotonů (napěťový zisk). Třetí generace článků je prozatím v experimentální a vývojové fázi. Výzkum je dělen na: [4]

- vícevrstvé solární články - využívají technologie tenkých vrstev
- články s vícenásobnými pásy
- články využívající nosiče náboje pro generaci většího počtu párů elektron - díra
- články využívající principu termofotovoltaické přeměny - absorbér nahrazuje elektroluminiscence
- články využívající principu kvantových jevů
- prostorově strukturované články - vznikající samoorganizací při růstu aktivní vrstvy
- organické články

Prozatím jediným dobře fungujícím článkem třetí generace je vícevrstvý článek, který

přímo navazuje na druhou generaci. Každá z vrstev absorbuje jistou část spektra a tímto se maximalizuje energetická využitelnost fotonů. [4]

Typickým příkladem solárního tandemového článku je p-i-n struktura skládající se z přechodu amorfního křemíku a přechodu mikrokrytalického křemíku. Tyto materiály jsou využívány pro trojvrstvé solární články, kde jsou spodní dva vyrobeny s různou koncentrací křemíku a germania. [4]

Základní podmínkou pro správnou funkci vícevrstevných článků je proudová rovnost, tzn. proud ve všech vrstvách musí být stejný. Pokud proud bude u jedné vrstvy nižší bude limitovat celý článek a jeho celkovou účinnost. Jako novým materiálem pro solární články je organika, která dodává článkům ohebnost, ale i průhlednost. Tyto články se mohou využít namísto oken budov nebo karoserií automobilů. [4]

5 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY

FV systémy jsou rozděleny podle připojení, zdali jsou nebo nejsou připojeny do distribuční sítě.

5.1 On-grid

Síťové systémy připojené do veřejné distribuční sítě (angl. on-grid). Největší rozšíření těchto systémů je v oblastech, kde je velká hustota sítí elektrických rozvodů. Při dostatečné intenzitě slunečního svitu, jsou spotřebiče napájeny z fotovoltaických panelů a případný přebytek energie je dodáván do distribuční sítě. V době, kdy je nedostatečná intenzita slunečního záření, je elektrická energie ze sítě odebírána. V dnešní době (vezmeme-li v potaz dotace) se tento systém jeví jako zajímavá investice. [4] [11]

5.2 Off-grid

Systémy, které nejsou připojeny do veřejné distribuční sítě (angl. off-grid). Energie ze systému lze v určitých případech využívat přímo pro napájení spotřebičů. Využívají se tam, kde není k dispozici elektrická rozvodná síť. Využívají se pro napájení chat, karavanů, dopravní signalizace apod. [11]

Off-grid systémy jsou dále děleny na systémy:

- S přímým napájením - zde je fotovoltaický panel přímo zapojen ke spotřebiči. Provoz je tedy omezen pouze na přítomnost slunečního svitu.
- Hybridní systémy - systém je navrhován tak, aby byl schopen napájet spotřebič i za podmínek, kdy sluneční svit není nebo je omezen. K FV systému, je proto přidružen alternativní zdroj energie, jako je například elektrocentrála nebo větrná elektrárna.
- FV systém s akumulátorovým úložištěm - systém je doplněn o akumulátory, které jsou schopné napájet spotřebič v době, kdy není dostatek slunečního svitu. [4] [11]

5.3 S bateriovým úložištěm

To je systém, který je sám sobě soběstačný. Energie vytvořená fotovoltaickými články je ukládána do akumulátorů a využívána v případě potřeby. Nejznámější aplikací jsou např. kalkulačky, stanice pro dobíjení mobilních telefonů apod. U čistě ostrovní aplikace s bateriovým úložištěm je důležitý výkon panelů a kapacita baterií. Systémy s úložištěm mohou být on grid i off grid. On grid systémy dále dělíme na systém, který při výpadku distribuční sítě může napájet spotřebiče až do vybití baterií a na systém, který je při výpadku nefunkční. Ačkoli je systém napájen z baterií většina střídačů je napájena přímo z distribuční sítě, proto není schopna napájet domácnost při výpadku distribuční sítě. [4] [11]

6 BATERIOVÉ ÚLOŽIŠTĚ

Jedná se o akumulátory. Akumulátory jsou zařízení sloužící k opakovanému uchovávání elektrické energie. Řadíme je mezi sekundární články, tzn. nejprve musíme energii akumulátoru dodat a až poté je akumulátor schopen energii uchovávat. Primární zdroj energie je takový, který ihned po sestavení dodává elektrickou energii. Primární zdroje se zpravidla nedají opakovaně nabíjet. [12]



Obr. 6-1 Akumulátorová sestava Fronius pro fotovoltaické elektrárny [25]

Bateriové napájení dnes v domácnosti slouží jako jeden z nejvíce rozšířených zdrojů elektrické energie. Nejčastějšími bateriemi používanými spotřebiči v domácnosti jsou elektrochemické články. [13]

6.1 Elektrochemické články

Elektrochemický článek, byl dříve označován jako galvanický článek, je chemický zdroj elektrické energie. Využívá principu přeměny elektrické energie na chemickou a v případě potřeby z chemické na energii elektrickou. Elektrochemický článek se skládá ze dvou elektrod různých materiálů (měď a zinek), mezi nimiž je elektrolyt.

Původní články byly mokré, využívaly tekutý elektrolyt. Dnes používáme články suché, kde je elektrolyt nasycen v pórovité hmotě mezi elektrodami. [14]

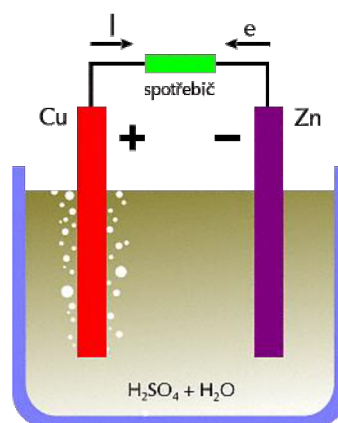
6.2 Elektrolyt

Elektrolyt je kapalina, ve které se molekuly štěpí na ionty, anionty a kationty. Elektrolyt se díky působení stejnosměrného proudu rozkládá. Vlivem elektrického pole, vytvořeného mezi elektrodami se anionty pohybují k anodě a kationty ke katodě. Uspořádaný pohyb iontů způsobuje elektrickou vodivost. Elektrická neutralita elektrolytu je vytvořena rovnováhou kladných a záporných iontů. Dopadem na zápornou elektrodu si z ní kationt doplní chybějící elektrony a vytvoří se neutrální atom. Anionty svůj náboj při dopadu odevzdají. Neutrální uvolněné částice na elektrodách mezi sebou neustále reagují a to buď s elektrolytem a nebo s elektrodami. Vlastnost, která umožňuje průchod proudu mezi elektrodami, se nazývá iontová vodivost. Nejčastěji používaným elektrolytem je H_2SO_4 (kyselina sírová). [14]

6.3 Princip elektrochemických článků

Po zředění kyseliny sírové (H_2SO_4) s vodou (H_2O) uvolní molekuly vody pevnou vazbu molekul kyseliny sírové a ta se rozštěpí na záporné a kladné ionty. Elektrolyt zůstává neutrální díky rovnováze nábojů. Po ponoření zinkové elektrody do elektrolytu se začne elektroda rozpouštět a kationty kladně nabijí elektrolyt. Na elektrodě se vytvoří volné elektrony a elektroda se nabije záporně. Mezi elektrodami se objeví napětí. Měděná elektroda se v elektrolytu rozpouští podstatně pomaleji než elektroda ze zinku. Po připojení spotřebiče mezi elektrody se poruší rovnovážný stav, elektrony procházející skrze spotřebič jsou odčerpávány na elektrodu měděnou. Tímto se na kladné elektrodě vylučuje vodík, případně uniká z elektrolytu. Propojením elektrod skrze spotřebič je porušena rovnováha a mezi ionty vznikne síran zinečnatý, ten se začne usazovat v nádobě galvanického článku. V roztoku začnou ubývat ionty zinku, dojde tak k dalšímu rozpouštění zinkové elektrody. Vodík vytvořený na kladné elektrodě by se slučoval a tím by snížil celkové napětí článku. Tento jev je nežádoucí a z tohoto důvodu využíváme depolarizátoru, kterým se obalí elektroda. [14]

- Depolarizátor je látka bohatá na kyslík, která za přítomnosti vody na sebe váže vodík.



Obr. 6-2 Princip elektrochemického článku [14]

6.4 Akumulátor

Zařízení, které opakovaně uchovává elektrickou energii. Za určitých podmínek dokáže po určitou dobu akumulovat elektrickou energii. Pokud molekula nové sloučeniny má větší energii než její složky, musíme nejprve do systému energii dodat, poté může probíhat chemická reakce. Nabitím akumulátoru vznikne chemicky nestabilní sloučenina, která po dodržení podmínek uvolňuje svoji energii. [15]

Vlivem rozpadu chemické látky vzniká napětí. K chemickému procesu dochází při nabíjení. [15]

6.5 Porovnání používaných druhů akumulátorů

Tabulka č.1 udává jaké jsou dnes nejvíce používané akumulátory. Dále je zde sepsán souhrn a porovnání nejdůležitějších vlastností.

Tab. 6-1 Porovnání používaných druhů akumulátorů [17]

| Typ akumulátoru | Hustota uložené energie [Wh/L] | Nominální napětí článku [V] | Životnost/ nabíjecí cykly [rok/cyklus] |
|-----------------|--------------------------------|-----------------------------|--|
| Olověný | 60-110 | 2,1 | 5/500-800 |
| NiCd | 150-200 | 1,2 | 2/1000-2000 |
| NiMH | 140-300 | 1,2 | 2/500-1000 |
| NiZn | 280 | 1,65 | 0,2/200-300 |
| Li-ion | 250-676 | 3,6 | 3/500-1000 |
| LiFePo4 | 220 | 3,2 | 5/1000-2000 |

6.5.1 Olověný

Daný akumulátor patří mezi jeden z nejpoužívanějších sekundárních zdrojů elektrické energie. Obě elektrody jsou tvořené olovem. Pro materiál nádoby je používána tvrdá pryž, sklo nebo plast. Jako elektrolyt se používá kyselina sírová naředěná destilovanou vodou. Po připojení stejnosměrného napětí potřebného pro nabíjení se na kladné elektrodě vytvoří vrstva kysličníku olovičitého, záporná elektroda se pokryje tmavě šedou houbovitou vrstvou olova. Tímto se nabitý akumulátor přemění v galvanický článek. Elektrolyt zhoustne a na svorkách je měřitelné napětí okolo 2 V. Po připojení zátěže započne proces vybíjení. Propojením svorek skrze zátěž začne probíhat opačná reakce než při nabíjení. Olověné akumulátory dosahují účinnosti okolo 80%. Vyznačuje se velkou spolehlivostí, výkonem a přijatelnou cenou. Mezi značnou nevýhodu patří velká hmotnost. [15] [16] Největší výhodou je poskytnout vysoké rázové proudy, dále jejich vysoká spolehlivost, životnost a přijatelná cena. Životnost se pohybuje okolo 5-ti a více let a to i v nepříznivých podmínkách. [17]

6.5.2 NiCd

Nikl-Cadmiový článek je jeden z nejstarších článků, který má teoreticky zvládnout tisíce nabíjecích cyklů, ale praxe je horší. NiCd akumulátory jsou citlivé na přebíjení a s přebíjením klesá jejich životnost. [17]

6.5.3 NiMH

Nikl-Metal Hybridní články jsou dnes nepoužívanější články o velikostech AA a AAA. Hlavní výhodou článků je snížený efekt samovybíjení. [17]

6.5.4 NiZn

Nikl-Zinkové jsou málo používané články a to z důvodu mírně zvýšeného napětí, které může způsobovat problémy. Dokáží dodávat vysoké proudy, nicméně jejich stabilita není dobrá a životnost se rychle zkracuje. [17]

6.5.5 Li-Ion

Lithium iontové články jsou nejvíce využívané ve spotřební elektronice. Největší výhodou je vysoká hustota energie, nízká úroveň samovybíjení a žádný paměťový efekt. Články dokáží dodávat velmi vysoké proudy. Baterie se vyznačují vysokou hustotou uložené energie, což bateriím umožňuje velkou úsporu v rozměrech a váze. Jednotlivé články mají vyšší článkové napětí. Články dosahují pracovního napětí až 3,6 V, to je v porovnání s ostatními typy baterií 3 krát více, a proto počet využitých baterií se při stejném výkonu sníží. Výhodou Li-Ion technologie je nízký efekt samovybíjení, který se pohybuje maximálně do 5%/měsíc. [17] [26]

6.5.6 LiFePo4

Lithium-železo-fosfátová technologie je poměrně nová technologie, která se vyznačuje vysokou životností a krátkou dobou nabíjení. Zároveň je zde možnost velkého rozsahu vybití. Dnes postupně nahrazuje baterie olověné. Oproti olověným akumulátorům není vyrobena z toxických materiálů. Tento typ baterií není do vysoké míry postižen samovybíjením maximálně 8%/měsíc. Výhodami jsou jejich relativně malé zástavbové rozměry až o 70%. Baterie nemusí být dlouhodobě plně nabitá, je schopná pracovat ve velkém rozsahu provozních teplot. LiFePo4 vyniká vysokým cyklickým výkonem, vysokou účinností a malým vnitřním odporem. Celková energetická účinnost se pohybuje okolo 92%. [27]

7 SYSTÉM FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY

Systém fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm připojený k distribuční síti. Tento systém řadíme mezi hybridní FV systémy. Primárním zdrojem je energie získaná z fotovoltaických panelů. Energie je ukládána do akumulátorů a v době, kdy je potřebná, ji odtud i čerpáme. Pokud nastane situace vybití akumulátorů (reálně na 20% kapacity), např. při dlouhodobě nízké úrovni slunečního svitu, přecházíme na napájení z distribuční sítě.



Obr. 7-1 Systém fotovoltaické elektrárny s akumulčním úložištěm pro domácnost [18]

7.1 Fotovoltaické panely

Panely lze umístit na nosnou konstrukci, která je zakomponována do střechy nebo fasády budovy. Samotná konstrukce může být i samonosná a to i pro rovné střechy, kde se požaduje neporušení celistvosti střechy nebo narušení střešní krytiny. Mezi faktory určující výkon panelů je sklon a orientace střechy popř. stěny. Panely by měly být umístěovány tak, aby docházelo k jejich volnému chlazení, protože hlavně v letních měsících může teplota

dosahovat až 80°C. Se zvyšující se teplotou klesá účinnost panelů. [11]

7.2 Střídač

Střídač je základní elektronické zařízení pro provoz fotovoltaické elektrárny. Střídače zajišťují konverzi stejnosměrného napětí na střídavé a zároveň dokáží překonvertovat napětí z panelů 31V na standardních 230V, kterých je v domácnostech využíváno u většiny spotřebičů. Vhodným zapojením lze střídač využívat i v opačném směru konverze energie např. k řízení servopohonů. Další funkcí inverterů je schopnost poskytovat informace o výrobě elektrické energie, v případě on-grid systému dokáží regulovat tok energie do spotřebičů, baterií a sítě. [1]

Střídače rozlišujeme:

- **Ostrovní (off-grid)** - střídače nezapojené do distribuční sítě. Invertory si generují svůj vlastní kmitočet 50Hz a přeměňují stejnosměrné napětí na střídavé. Výstupní napětí je sinusového průběhu, ale u levnějších variant se můžeme setkat s méně vhodným lichoběžníkovým nebo obdélníkovým signálem. Tyto střídače se využívají v místech, kde není k dispozici distribuční síť. Hlavními výhodami jsou robustnost, hmotnost a možnost přetížitelnosti až na 200% po dobu několika desítek vteřin. [1]
- **Síťové (on-grid)** - systém připojen do centrální distribuční sítě. V době generace elektrické energie z panelů při nulovém odběru spotřebiči, střídače konvertují stejnosměrné napětí na střídavé o frekvenci, která je synchronizovaná se sítí a dodávají tak do sítě energii. Pokud je energie potřeba na zapnutí spotřebiče, je prvotně využívána z panelů. Při nepříznivých podmínkách pro výrobu energie z panelů je energie odebírána ze sítě. [1]
- **Hybridní** - předností hybridních střídačů je chytrá elektronika, která zajišťuje funkci ve více režimech. Invertory dokáží nabíjet baterie, napájet spotřebiče nebo dodávat přebytek energie do distribuční soustavy. Mezi režimy je možné volně volit nebo přednastavit prioritně napájené spotřebiče. Tohoto lze dosáhnout připojením wattrouteru, který umožňuje napájet např. boiler pro ohřev teplé vody nebo vytápění, či dobíjet baterie a přebytek odesílat do distribuční sítě. Hybridní střídače dále dělíme na střídače s a bez backup systému. Střídače s back up systémem umožňují napájení i po odpojení distribuční sítě, u střídačů bez back up systému nikoli. [1]

7.3 Domovní rozvaděč

Elektrotechnické zařízení, které slouží k napájení domácnosti. Energie do domovního rozvaděče je přivedena z distribuční soustavy. Energie je zde rozvětvena do potřebných napájecích svazků a rozvedena ke spotřebičům. Je využíván jako hlavní bezpečnostní prvek. Jednotlivé okruhy jsou chráněny jističi a proudovým chráničem. U systému fotovoltaických elektráren je rozvaděč propojen se střídačem a ten řídí napájení celého objektu.

8 LEGISLATIVA

Fotovoltaická elektrárna je dle zákona č.458/2000 Sb., zařazena jako výrobná elektrické energie. Pokud se provozovatel fotovoltaické elektrárny rozhodne připojit tuto elektrárnu do distribuční sítě, Energetický regulační úřad (ERU) vydá licenci. Žadatel o licenci může být jak fyzická tak i právnická osoba. Nově od roku 2016 lze provozovat solární elektrárny do výkonu 10kW bez licence. Tyto zdroje do 10 kW jsou považovány za mikrozdroje a lze je vystavět bez stavebního povolení a licence. Elektrárny s výkonem do 20 kW lze vystavět bez povolení a ohlášení stavby, avšak podmínka vlastnění licence stále platí. [19] [24]

Hlavní předpis, který upravuje provozování fotovoltaické elektrárny, je energetický zákon.

8.1 Energetický zákon

Zákon č. 458/2000 Sb., stanovuje podmínky v oblasti podnikání a výkonu státní správy v energetických odvětvích. Energetický zákon je právní předpis, který upravuje energetické odvětví v ČR. V zákoně je ustanoveno co je v energetickém odvětví podnikání, a pro které je nutná licence. Dále je zde popsána působnost Energetického regulačního úřadu. [20] [24]

8.2 Zákon o podporovaných zdrojích energie

Zákon č. 165/2012 Sb., stanovuje, pokud je množství vyrobené elektrické energie pouze na instalacích do výkonu 30 kWp a je umístěna na obvodové zdi nebo na střešní konstrukci. Provozovatelé jsou osvobozeni od placení solární daně. Je zaveden model pro výkup energie a státní příspěvek ve formě dotace. Výše státní dotace je stanovena podle instalovaného systému a s takovou návratností, aby nepřesáhla patnáct let. Tento zákon je stále v platnosti, ale pouze v dobové fázi pro systémy vybudované do roku 2011. [21] [24]

8.3 Výkup elektrické energie

Energie vyrobená ze solárních panelů se v domácnosti využije k napájení spotřebičů, nabíjení baterií nebo k topení a ohřevu vody. Přebytečná nespotebovaná energie putuje do distribuční sítě. Takto vyrobená energie je smluvně daným dodavatelem vykupována za výkupní cenu, ta se dnes pohybuje mezi 0,30 - 0,60 Kč/kWh. Celý proces je řízen automaticky ze střídače. Ve chvíli, kdy vyrábíme elektřinu, využíváme energii z panelů a přebytek odesíláme do sítě. Po vyčerpání vlastních zásob odebíráme energii ze sítě za smluvní cenu, která se pohybuje mezi 3 - 5 Kč za kWh. [22]

8.4 Nová zelená úsporám

Program zaměřený na úsporu energie v budovách určených pro bydlení. Hlavním zaměřením je zlepšení stavu životního prostředí a snížení produkce CO₂. Program přispívá k energetické úspoře, zlepšení kvality bydlení a nastartování nových modernějších trendů. [23] [24]

Podpora je zaměřena na :

- Renovace domů a bytů (zateplení, výměna oken a dveří)
- Stavba nových pasivních domů a bytů
- Solární termické a fotovoltaické systémy
- Střešní zeleň
- Systémy rekuperace energie
- Výměna topných zdrojů za tepelná čerpadla nebo kotlů na biomasu

Samotná výše podpory je ovlivnitelná kvalitou provedených opatření, která vedou k větší úspoře energie. Čím větší opatření, tím větší možnost podpory.

Mimo dotaci na vybudování systému, lze zažádat o podporu na přípravu projektu, tvorbu technické dokumentace nebo na energetické zhodnocení budovy. Dalšímu navýšení výše dotace může být kombinace na realizaci opatření ze dvou různých oblastí. [28]

8.4.1 Oblasti podpory

Celkový systém podpor je rozdělen do několika kategorií. Každá kategorie se zabývá různým typem úspor spotřeby energií. V rámci dotačních programů lze jednotlivé oblasti kombinovat.

- Oblast podpory A - skupina zaměřená na snižování energetické náročnosti stávajících rodinných domů. V této oblasti lze využít dotací na zateplení, výměnu oken, střech, podlah. [28]
- Oblast podpory B - program zaměřený na výstavbu nových domů s velmi nízkou energetickou náročností. Dotační podpora je formou fixní jednorázové částky. Výše podpory se určí dle energetického štítku a technické náročnosti projektu. [28]
- Oblast podpory C - podpora zaměřená na využití zdrojů energie. Do této kategorie je zahrnut program na výměnu neekologického zdroje tepla za efektivní ekologicky šetrný zdroj nebo využití termických a fotovoltaických systémů. [28]

8.4.2 Oblast podpory C

Třetí oblast podpory je dále rozdělena do několika podoblastí.

- Podoblasti C.1 a C.2 se věnují výměnám zdrojů tepla, kdy je primárním cílem lokálně snížit emise z vytápění domácností výměnou za ekologický zdroj tepla jako je např. tepelné čerpadlo země-voda. [28]
- Podoblast C.3 je zaměřena na instalace solárních termických a fotovoltaických systémů. Žadatel o dotaci musí být majitelem domu a o dotaci může požádat pouze jednou za dobu trvání dotačního programu. Dle nové vyhlášky oblasti C se dotační podpora vztahuje i na rozšíření stávajícího solárního systému, na který byla již v minulosti čerpána dotace. Podpora na rozšíření instalace je možná za dodržení jistých podmínek z oblastí C.3.1 - C.3.6. Maximální celkový instalovaný výkon kombinace systémů nesmí přesáhnout hodnotu 10kWp. Pro podoblasti C.3.4-C.3.6

musí být vždy pro získání dotace splněna podmínka připojení systému k distribuční síti. [28]

Výše dotací pro solární systém je závislá na instalovaném systému viz. porovnávací tabulka.

Tab. 8-1 Výše dotace za instalovaný systém [24] [29]

| Podoblast podpory | Instalovaný systém | Maximální výše podpory [Kč] |
|-------------------|---|-----------------------------|
| C.3.1 | Solární termický systém na přípravu teplé vody | 35 000 |
| C.3.2 | Solární termický systém na přípravu teplé vody a přitápění | 50 000 |
| C.3.3 | Fotovoltaický systém pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem | 35 000 |
| C.3.4 | Fotovoltaický systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem $\geq 1700\text{kWh.rok}^{-1}$ | 55 000 |
| C.3.5 | Fotovoltaický systém s akumulací elektrické energie s celkovým využitelným ziskem $\geq 1700\text{kWh.rok}^{-1}$ | 70 000 |
| C.3.6 | Fotovoltaický systém s akumulací elektrické energie s celkovým využitelným ziskem $\geq 3000\text{kWh.rok}^{-1}$ | 100 000 |
| C.3.7 | Fotovoltaický systém s akumulací elektrické energie s celkovým využitelným ziskem $\geq 4000\text{kWh.rok}^{-1}$ | 150 000 |
| C.3.8 | Fotovoltaický systém efektivně spolupracující se systémem vytápění a přípravy teplé vody s tepelným čerpadlem | 150 000 |

- Podoblast C.4 slouží pro systémy nuceného větrání se zpětným získáváním tepla. V tomto případě lze dotaci využít pokud splníme podmínku úspory na vytápění vlivem nuceného větrání alespoň 20%. [28]
- Podoblast C.5 je pro získání podpory na zpracování odborného posudku a zajištění průdušnosti obálky budovy. Zde se musí žádat na více opatření v podoblastech C.1-C.4. Maximálně však dosáhneme na 15% z alokované částky podpory. [28]
- Podoblast C.6 určená na zvýhodnění při využití výrobků s enviromentálním prohlášením typu 3. [28]
- Podoblast C.7 podpora na využití tepla z odpadní vody. [28]

Dalšími typy dotací jsou fixní částky vyplácené jednorázově. Celkově se kombinací systémů může získat dotace až 50% z celkových nákladů, nejvýše 350 000 Kč. [24]

Žadatel o dotace vždy musí být majitelem nemovitosti. Žádat o dotace se může před začátkem, v průběhu a nebo po ukončení realizace, avšak je nutné systém dokončit do 12 měsíců ode dne akceptace žádosti. Datum pro rozhodnutí o způsobilosti výdajů je nejvýše 24 měsíců před datem evidence žádosti. Žádost se podává výhradně elektronicky pomocí online formuláře. Termín pro ukončení dotačního programu je dán vyčerpáním stanovených alokací a nebo nejpozději do 31.prosince 2021. [24]

9 NÁVRH SYSTÉMU

Praktická část práce je věnována vlastnímu návrhu fotovoltaické elektrárny pro domácnost. V dalších podkapitolách jsou popsány informace o systému a jednotlivých komponentech.

9.1 Zadání práce

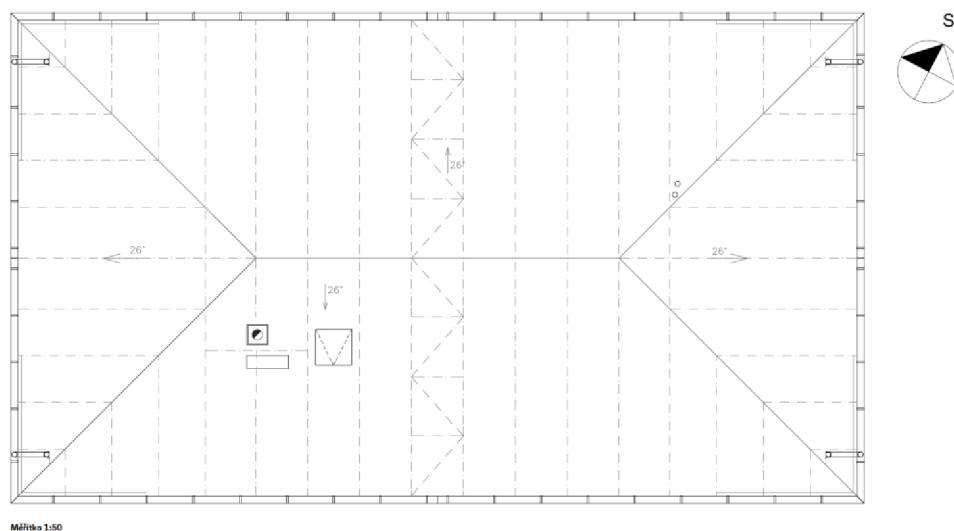
System domácí fotovoltaické elektrárny bude navrhován pro patrový rodinný dům v obci Zlobice okres Kroměříž ve Zlínském kraji. Objekt má sedlovou střechu o sklonu 26° .

Průměrná hodnota spotřeby elektrické energie v rodinném domě za poslední 3 roky je 4158 kWh/rok. Ohřev užitkové vody probíhá pomocí plynového průtokového ohřívače. Vytápění domu je řešeno kondenzačním plynovým kotlem.

Požadavkem zákazníka je pokrytí vlastní spotřeby elektrické energie, připojení baterie a využití dotace z NZÚ.

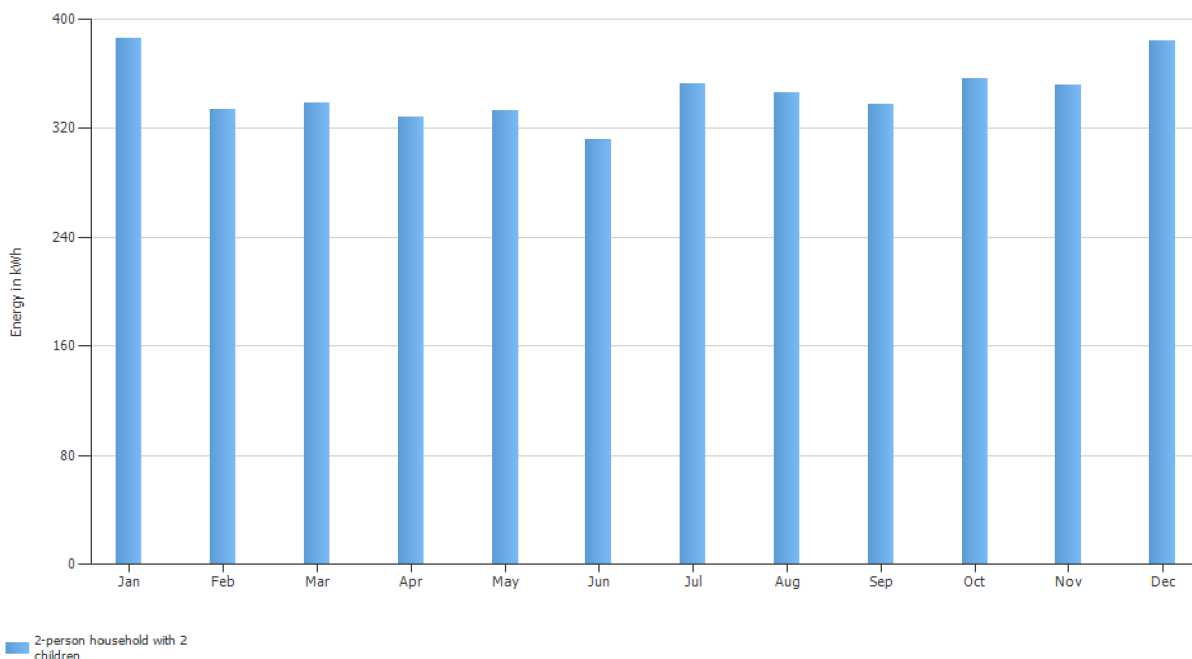
9.2 Základní údaje

Střešní část, která bude pokryta fotovoltaickými panely, je orientována na jihovýchod. V této části střechy je umístěn komín a systém odvětrávání domu. Tyto funkční systémy nám budou nepatrně ovlivňovat sluneční svit a to působením stínu. V okolí domu nalezneme pár vzrostlých stromů, které také ovlivňují průběh slunečního svitu.



Obr. 9-1 Půdorys střechy

Profil spotřeby elektrické energie je zvolen k adekvátním podmínkám. Jedná se o rodinný patrový dům, tudíž volíme profil odběru energie pro čtyřčlennou rodinu, rodiče se dvěma dětmi.



Obr. 9-2 Profil spotřeby energie

Profil spotřeby není konstantní a spotřeba se měsíčně mění. Spotřeba energie je závislá na ročním období a daném počasí. Dům pro vytápění a ohřev vody nevyužívá elektrickou energii a proto se vliv vytápění a ohřevu vody do profilu nepromítnul.

9.3 Volba panelů

Pro zadaný dům je potřebný průměrný roční výkon solární elektrárny alespoň 4158 kWp. Jelikož je tato hodnota průměrná, meziroční spotřeba může být mírně větší. Pro pokrytí vlastní spotřeby a splnění procentuelní hodnoty stupně soběstačnosti pro získání dotace je nutné zvolit nižší instalovaný výkon elektrárny.

Zvolené panely jsou Axitec AXIpower AC280P

Pro splnění celkového instalovaného výkonu pro pokrytí vlastní spotřeby alespoň 70% je nutné použít 11 panelů. Celkový instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny s celkovým počtem 11 panelů je roven 3,08 kWp

Specifikace panelu:

Tab. 9-1 Specifikace použitých FV panelů [30]

| Šířka | Výška | Tloušťka | m | η_{\max} | P_{pn} | U_{mpp} | I_{mpp} | U_0 | I_{sc} | X | Cena bez DPH |
|-------|-------|----------|----|---------------|----------|-----------|-----------|-------|----------|----|-----------------|
| mm | mm | mm | kg | % | Wp | V | A | V | A | - | Kč |
| 992 | 1640 | 35 | 18 | 17,21 | 280 | 31,48 | 8,9 | 38,61 | 9,37 | 60 | 2504 |

Kde:

m - hmotnost panelu [kg]

η_{\max} - maximální účinnost panelu [%]

P_{pn} - nominální výkon panelu [Wp]

U_{mpp} - jmenovité napětí panelu [U]

I_{mpp} - jmenovitý proud při zátěži [I]

U_0 - napětí naprázdno [U]

I_{sc} - zkratový proud [A]

X - počet článků panelu [-]

Zvolený panel je polykrystalické technologie, z důvodu dobré využitelnosti difuzního záření. Výrobce garantovaná záruka na produkt je 15 let a 25 let zaručené lineární výkonnosti 85% jmenovitého výkonu.

Pro splnění podmínky dotačního programu Nová zelená úsporám je nutné dodržet minimální účinnost panelu, která musí být větší 15%. U zvoleného panelu je celková účinnost panelu 17,21%. [30]

9.3.1 Celková plocha panelů

Celkovou plochu panelů určíme z výpočtu:

$$S_{\text{panelů}} = N * \text{Šířka} * \text{Délka} = 11 * 0,992 * 1,640 = 17,9 \text{ m}^2$$

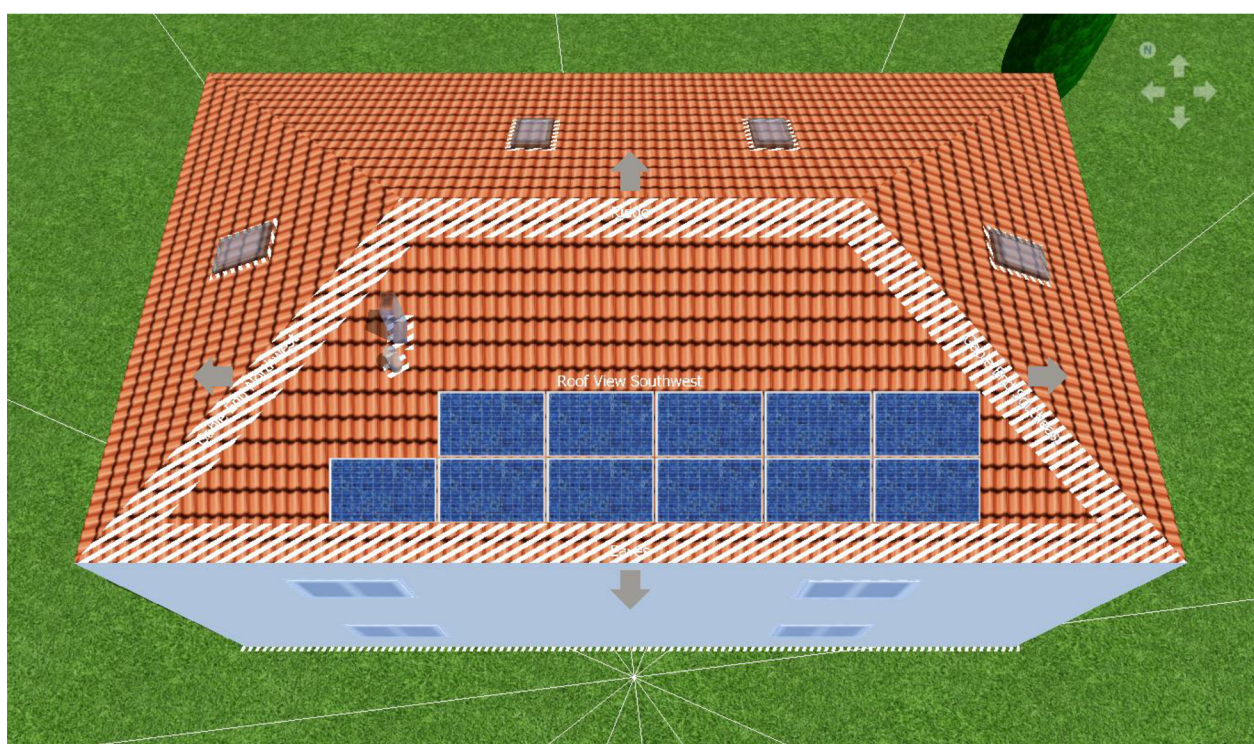
Kde:

$S_{\text{panelů}}$ - celková plocha panelů [m²]

N - počet panelů [-]

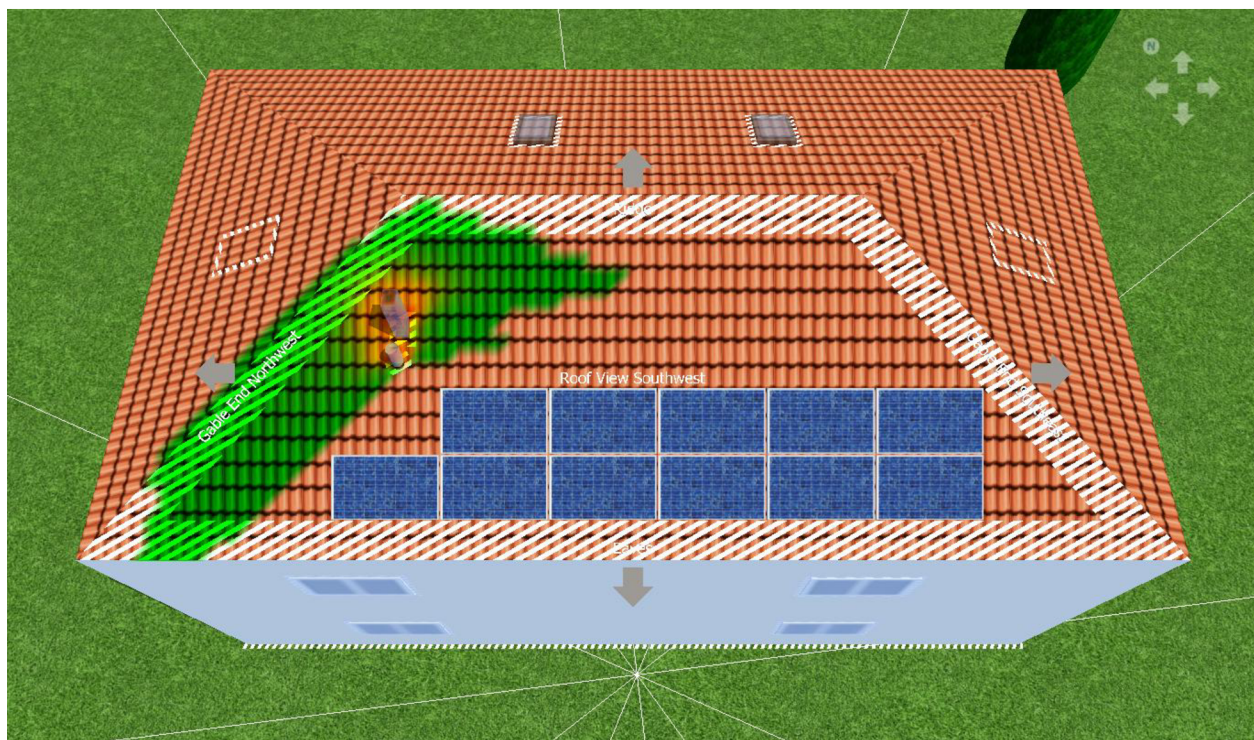
9.3.2 Rozložení panelů na střeše

Panely jsou umístěné na jedné části střechy. Z důvodu situování komínu a systému ventilace bude nutné panely umístit co nejdále od působení stínů. Panely budou uspořádány vodorovně ve dvou řadách. V jedné řadě bude umístěno 6 a ve druhé 5 panelů. Uspořádání lze vidět na obrázku 9-3. Uspořádání panelů do dvou řad je voleno z důvodu montáže, umístění komínu a odvětrávání tak, aby bylo pole působení stínu co nejmenší. Komín s odvětráváním se nachází na západní straně, tudíž vliv stínu na panely během dne je díky situování panelů minimální. Ohraničené pole střechy udává zónu, kde panely není vhodné umístit. Jedná se o krajové a nárožové části, kde by panely nebylo možné dostatečně upevnit.



Obr. 9-3 Rozložení panelů na střeše PVSOL

Na obrázku 9-4 je znázorněno působení stínu. Nejvíce postižená oblast je znázorněna červenou barvou a nachází se v okolí komínu. Oranžovo žlutá barva znázorňuje nižší působení stínu. Zelená barva, která je na střeše nejvíce obsažena, znázorňuje plochu, kde stín při západu slunce působí. Hodnota tohoto působícího stínu je, ale minimální. Jakmile začne slunce zapadat, stín se od hřebenu střechy postupně přesouvá směrem k panelům. Panely jsme proto situovali co nejdál od působení tohoto stínu. Jakmile stín dosáhne tohoto rozložení, slunce už je na hranici západu, kdy intenzita světla značně klesne. Znázorněný stín je mimo dosah panelů a na panely má minimální vliv.



Obr. 9-4 Působení stínu PVSOL

9.3.3 Montáž panelů

Uspořádání panelů a typ střechy umožňují panely montovat přímo na konstrukci střechy bez složité modifikace. Panely jsou přímo zakomponovány do střešní konstrukce pomocí montážního systému pro šikmé taškové střechy. Tento systém obsahuje sestavu úchytů, které se našroubují na střešní latě a zakryjí se krycí taškou. V prostoru nad taškou zůstane část úchytu, do kterého se montuje samotná konstrukce hliníkových profilů. Panely jsou osazovány na rošt vytvořený z hliníkových profilů. Do hliníkových profilů jsou panely uchyceny pomocí Z plechů, které se přímo našroubují do profilů. Výhodou těchto systémů je snadnost instalace, snadná integrace do jakékoli taškové krytiny o různých rozměrech a vytvoření vhodných podmínek pro ventilaci panelů. Montážní systém je ukázán na obrázku 9-5.



Obr. 9-5 Montážní systém pro šikmé střechy [31]

9.4 Volba střídače

Panely jsou na střeše rozděleny na jeden okruh neboli string. Rozdělení panelů je symetrické jsou zapojeny do série. String je zapojen přímo do střídače. Požadavkem na střídač je, aby uměl energii ukládat do akumulátorů a zároveň, aby byl schopen přeměrovat tok energie z nebo do distribuční sítě. Bude se tedy jednat o hybridní třífázový střídač. Jedinou nevýhodou tohoto tří fázového střídače je absence nesymetrické dodávky elektrické energie.

Zvolený střídač je Fronius Symo Hybrid 3.0-3-S

Zvolený střídač musí zvládnout celkový instalovaný výkon FVe. Instalovaný výkon panelů je 3,08 kW. Pro střídač je limitní maximální vstupní výkon 5 kW, což je s rezervou dostačující.

Specifikace střídače:

Tab. 9-2 Specifikace použitého střídače [32]

| Fronius Symo Hybrid 3.0- 3-S | $P_{VS_{max}}$ | $I_{dc_{max}}$ | P_{acr} | $P_{ac_{max}}$ | $I_{ac_{max}}$ | η_{eu} | η_{aku} | Cena bez DPH |
|---------------------------------------|----------------|----------------|-----------|----------------|----------------|-------------|--------------|-----------------|
| | W | A | W | VA | A | % | % | Kč |
| | 3000 | 16 | 3000 | 3000 | 8,3 | 95,2 | >90 | 44900 |

Kde:

$P_{VS_{max}}$ - maximální výstupní výkon systému [W]

$I_{dc_{max}}$ - maximální vstupní proud [A]

P_{acr} - jmenovitý výkon [W]

$P_{ac_{max}}$ - maximální výstupní výkon [VA]

$I_{ac_{max}}$ - maximální výstupní AC proud [A]

η_{eu} - účinnost dle euro [%]

η_{aku} - maximální účinnost pro akumulátor [%]

Zvolený střídač kombinuje funkci nabíjecího zdroje, akumulátorového střídače, hybridního střídače, řídicí systém, kontrolu a monitoring. Hybridní střídač umožňuje napájet elektrické spotřebiče a zároveň přebytečnou energii ukládat do akumulátorů nebo odesílat do distribuční sítě. Měníč disponuje integrovanou funkcí správy toku energie, díky které řídí tok energie všemi směry. Připojení akumulátorů je možné v režimech AC, DC nebo jejich kombinací. [32]

Pro splnění podmínky dotačního programu Nová zelená úsporám pro účinnost fotovoltaických komponentů, musí být minimální průměrná účinnost měniče alespoň 94%.

Zvolený měnič disponuje minimální průměrnou účinností 95,2%, které jsou pro dotační program vyhovující.

9.5 Návrh baterií

Pro návrh sestavy baterií je nutné brát v potaz funkce střídače. Zvolený střídač podporuje třífázové napájení baterie. Baterie bude volena s podporou třífázového asymetrického napájení. Zvolením třífázového střídače a baterie maximálně využijeme potenciál systému.

Zvolená baterie je Varta one XL 17m 8kWh

Tab. 9-3 Specifikace použité baterie [33]

| Varta one XL 13m 6kWh | U_{nb} | C | Rozměry $V \times \check{S} \times H$ | I_{max} | P_{max} | Váha | Cena bez DPH |
|-----------------------------|----------|------|--|-----------|-----------|------|-----------------|
| | V | Wh | mm | A | W | kg | Kč |
| | 400 AC | 5400 | 1850x400x600 | 16 | 4000 | 110 | 212200 |

Kde:

U_{nb} - rozsah napětí [V]

C - užitečná kapacita [Wh]

I_{max} - maximální nabíjecí/vybíjecí proud [A]

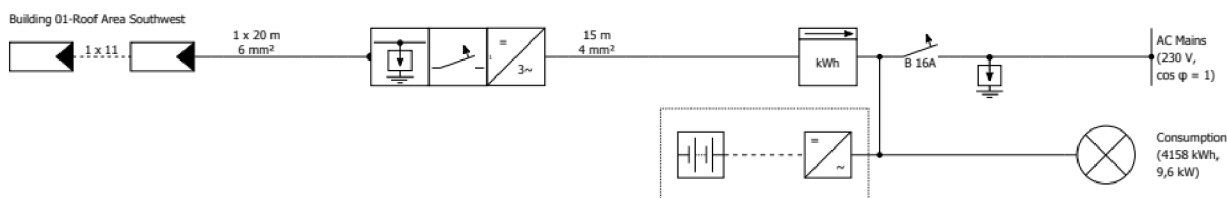
P_{max} - maximální nabíjecí/vybíjecí výkon [W]

Celková užitečná kapacita baterie je 7100 Wh. Baterie je lithium-železo-fosfátové technologie, která se vyznačuje vysokou životností a krátkou dobou nabíjení. Zároveň je zde možnost velkého rozsahu vybití. Akumulátor je modulárně uspořádán a lze jej kapacitně modifikovat. Tento typ se skládá z 17 článků s kapacitou 460 Wh. Udávaná životnost akumulátoru je dle výrobce větší než 20 let. [33]

Akumulátor je určen pro vnitřní instalace a proto i jeho krytí IP33 odpovídá vhodnému umístění ve vnitřních prostorech. Pro připojení se střídači jsou uzpůsobeny svorky, do kterých můžeme připojit kabeláž o průměrech 2,5 - 16 mm². Připojení ke střídači musí být provedeno AC vedením, což zvyšuje efektivitu celého systému

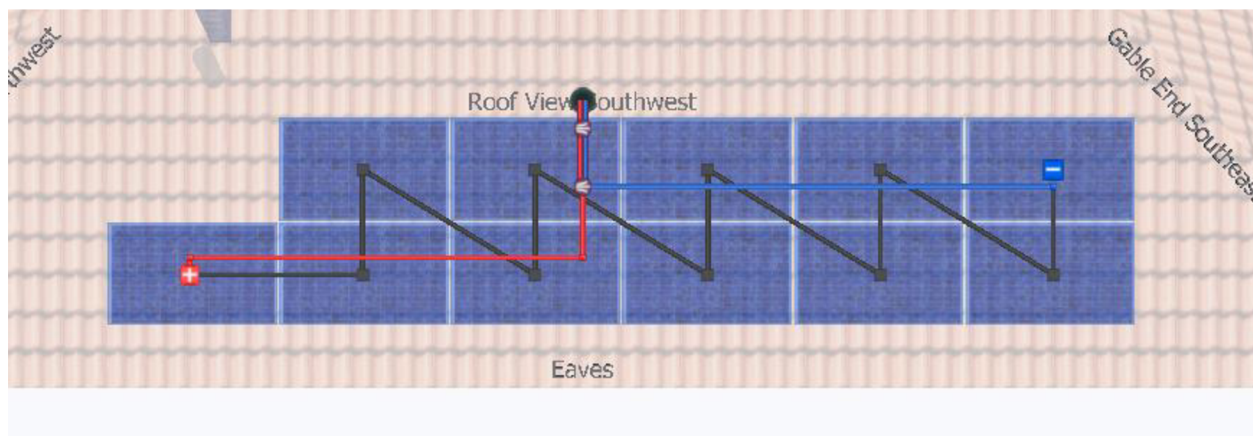
9.6 Zapojení systému

Po zvolení klíčových komponentů je potřeba celý systém vhodně připojit a nadimenzovat ochranné prvky a kabeláž. Zapojení systému je možné vidět na obrázku 9-6.



Obr. 9-6 Zapojení systému fotovoltaické elektrárny

Samotné zapojení začíná připojením již namontovaných fotovoltaických panelů ke střídači. Pro propojení panelů se používají speciální kabely, určené do venkovního prostředí. Standardní průřezy kabelů pro připojení jsou průměry 4, 6 a 9 mm². Pro navržený systém budou použity vodiče s průměrem 6 mm². Zvolením těchto vodičů je kompromis mezi ztrátami na vedení a cenou kabeláže. U průřezu 4 mm² jsou ztráty vysoké a průřez 9 mm² se pro tento systém příliš cenově nehodí. Zapojení panelů a jejich přívodů lze vidět na obrázku 9-7.



Obr. 9-7 Zapojení fotovoltaických panelů

Panely jsou zapojeny do jedné větve sériovým spojením. Jedna větev obsahuje vedení dvou vodičů, pro kladnou i zápornou polaritu zvlášť. Pospojení panelů je ukončeno svorkou, do které jsou zapojeny přívodní kabely od střídače.

Systém zapojení fotovoltaických panelů je chráněn stejnosměrnými pojistkami. U panelů je nutné počítat s ochranou proti zpětnému proudu. Poškození zpětným proudem nastává ve chvíli, kdy jeden nebo více panelů v řetězci vypadne. Výpadek může být v důsledku např. zkratu na svorkách připojení nebo důsledek vnitřního poškození panelu. Ve chvíli výpadku jednoho panelu

se celkové napětí systému sníží. Ostatní panely s poškozeným panelem stále pracují, ale poškozený panel je pro ně přítěží. Poškozeným panelem teče proud v obráceném směru.

U fotovoltaických elektráren se využívají pojistky s charakteristikami gG, gS, gR a speciální gPv. Pro zvolení správného typu pojistky je nutné dodržet následující podmínky.

Podmínka pro minimální jmenovité napětí pojistky:

$$U_{np} \geq 1,2 * U_0 * N = 1,2 * 38,61 * 11 = 510 \text{ V}$$

Kde:

1,2 - koeficient zvýšeného napětí při -25°C a výrobní toleranci [-]

U_0 - napětí panelu naprázdno [V]

N - počet panelů [-]

Podmínka pro minimální jmenovitý proud pojistky:

$$I_{np} \geq 1,4 * I_{sc} = 1,4 * 9,37 = 13,12 \text{ A}$$

Kde:

1,4 - koeficient cyklického zatížení při 60°C a zvýšeném ozáření [-]

I_{sc} - zkratový proud panelu [A]

Dle podmínek je nutné zvolit vhodné pojistky, které budou odpovídat vypočítaným hodnotám.

Zvolené pojistky:

Tab. 9-4 Specifikace použitých pojistek [34]

| Válcová pojistková vložka | U_{np} | I_{np} | I_v | Charakteristika | Materiál | Cena bez DPH |
|---------------------------|----------|----------|-------|-----------------|----------|-----------------|
| CH22 | V | A | kA | - | - | Kč |
| | 690 | 16 | 100 | gG | Keramika | 13,8 |

Kde:

U_{np} - jmenovité napětí [V]

I_{np} - jmenovitý proud [A]

I_v - vypínací schopnost [A]

Pro vypočítaný jmenovitý proud pojistky jsme z řady zvolily nejbližší hodnotu, což je 16A. Vypínací charakteristika pojistky je gG a lze ji použít v celém rozsahu nadproudů. Pojistky jsou uloženy v pojistkovém odpojovači a v případě přetavení je zde snadná výměna.

Jako další prvek v systému je připojen střídač. Do střídače jsou přímo vedeny kabely od fotovoltaických panelů a pomocí svorkovnice připojeny ke správné polaritě.

Připojení střídače k domovnímu rozvodu a baterii je provedeno kabelem CYKY 3Cx4. Zvolený kabel je běžně používaným u domovních rozvodů. Balancuje přijatelnou cenu a ztráty na vedení. Maximální proudová zatížitelnost kabelu je 34 A. Dle smluvních připojovacích podmínek je navržený systém dimenzován na 16 A.

Celý systém fotovoltaické elektrárny bude jištěn 16 A jističem typu B a přepět'ovou ochranou s uzemněním. Samotná baterie obsahuje ochranu pojistkami.

Volba 16 A jističe plyne z připojovacích podmínek distributora. Celý systém je nadimenzován maximálně na 16 A. Z podmínek o Žádost o připojení mikrozdroje do distribuční sítě musí být splněny podmínky s maximálním střídavým proudem na fázi do 16 A a maximálním celkovým instalovaným výkonem do 10 kW/rok.

Zvolené jističe:

Tab. 9-5 Specifikace použitých jističů [35]

| Jistič Eaton | U_{np} | I_{np} | I_{zk} | Charakteristika | Vodič | Cena bez DPH |
|--------------|----------|----------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 16A B | V | A | kA | - | mm ² | Kč |
| | 230/400 | 16 | 6 | B | 1-25 | 123 |

Kde:

U_{np} - jmenovité napětí [V]

I_{np} - jmenovitý proud [A]

I_{zk} - zkratová odolnost [A]

Jedna z nejdůležitějších ochran je ochrana přepět'ová. Tato ochrana chrání zařízení nebo sestavu zařízení před působením přepětí. Za přepětí lze považovat napětí, které je oproti jmenovitému dvojnásobné. Při standardním výkyvu napětí o $\pm 10\%$ přepět'ová ochrana nevybavuje, protože překročení napětí v síti je v toleranci distributora.

Zvolený svodič přepětí:

Tab. 9-6 Specifikace použité přepět'ové ochrany [36]

| Svodič přepětí | U_{np} | U_t | I_{nps} | Vodič | Cena <small>bez DPH</small> |
|-------------------|----------|-------|-----------|-----------------|--------------------------------|
| Eaton | V | V | kA | mm ² | Kč |
| SPBT12 | 280 | 280 | 25 | 1-25 | 2635,23 |

Kde:

U_{np} - jmenovité napětí [V]

U_t - jmenovité trvalé napětí [V]

I_{nps} - jmenovitý svodový rázový proud [A]

Svodič přepětí při zjištění zvýšené hladiny napětí vybaví a napětí svede do uzemnění.

V poslední části je systém připojen do domovního rozvaděče, který je řízen střídačem. Střídač směřuje tok energie do sítě, baterie a ke spotřebičům.

Ve spodní části domu se nachází technická místnost, ve které jsou umístěny veškeré komponenty domácí elektrárny.

9.7 Vyčíslení nákladů a ekonomické zhodnocení

Celková cena sestavy komponentů pro fotovoltaickou elektrárnu je uvedena v tabulce 9-7. V celkové ceně jsou rozepsány jednotlivé položky a jejich ceny. Ceny jsou čerpány z internetových obchodů. V celkové ceně je zahrnuta i tvorba výkresové dokumentace a montážní práce. Ceny za práci a tvorbu technické dokumentace vychází z kalkulací pro FV systémy firmy E.ON.

Tab. 9-7 Vyčíslení ceny fotovoltaické elektrárny [Vlastní výzkum]

| Položka | počet | cena za kus bez DPH | Celková cena bez DPH | Celková cena s DPH |
|--|-------|---------------------|----------------------|--------------------|
| | ks | Kč | Kč | Kč |
| Panely Axitec AXIpower AC280P | 11 | 2 504,32 | 27 547,52 | 33 332,49 |
| Střídač Fronius Symo Hybrid 3.0-3-S | 1 | 38 614,00 | 38 614,00 | 46 722,94 |
| Baterie Varta one XL 17m 8kWh | 1 | 105 879,46 | 105 879,46 | 128 114,14 |
| Smart meter Fronius | 1 | 4 834,80 | 4 834,80 | 5 850,11 |
| | | | | |
| Montážní sada pro panely Sharp | 11 | 855,00 | 9 405,00 | 11 380,05 |
| Sada přepětové ochrany, jističe, pojistky | 1 | 4 488,30 | 4 488,30 | 5 430,84 |
| Kabeláž, elektro materiál, instalační materiál | 1 | 11 439,90 | 11 439,90 | 13 842,27 |
| | | | | |
| Projektová dokumentace | 1 | 5 301,00 | 5 301,00 | 6096,15 |
| Montážní práce, doprava | 1 | 31 515,30 | 31 515,3 | 36 242,59 |
| EKO poplatek za likvidaci panelu | 11 | 50,00 | 550,00 | 665,50 |
| | | | | |
| Cena s DPH celkem | | | 239 575,28 | 287 677,11 |

Celý systém elektrárny je navržen tak, aby byly splněny podmínky dotačního programu Nová zelená úsporám. Celková cena včetně DPH je vyčíslena na 287 677 Kč. Tento systém je zařazen do skupiny C3.6 a maximální možná dotace pro tento systém činí 105 000 Kč.

Pro splnění podmínek dotačního programu bylo nutné se držet požadovaných hodnot. Výčet požadavků a jejich dodržení lze vidět v tabulce 9-8.

Tab. 9-8 Podmínky dotačního programu [Vlastní výzkum]

| Požadavky dotačního programu | Požadováno | Instalováno |
|---|------------|-------------|
| Minimální podíl vlastní spotřeby | 70% | 71,7% |
| Hybridní střídač | ano | ano |
| Minimální průměrná účinnost měniče dle EU | 94% | 95,20% |
| Minimální kapacita baterie | 3,85 kWh | 7,10kWh |
| Minimální účinnost panelů | 15% | 17,1% |
| MPPT | ano | ano |
| Maximální instalovaný výkon FV systému | 10kWp | 3,08kWp |
| Minimální instalovaný výkon FV systému | 1,70kWp | 3,08kWp |

9.7.1 Postup pro získání dotace

Ve výše uvedené tabulce 9-8 jsou sepsány základní požadavky pro získání dotace. Všechny požadavky pro získání dotace jsou splněny. Dalším splněným požadavkem musí být vlastnictví

nemovitosti, která musí být určená k bydlení. Nemovitost musí být zapsána v katastru nemovitostí.

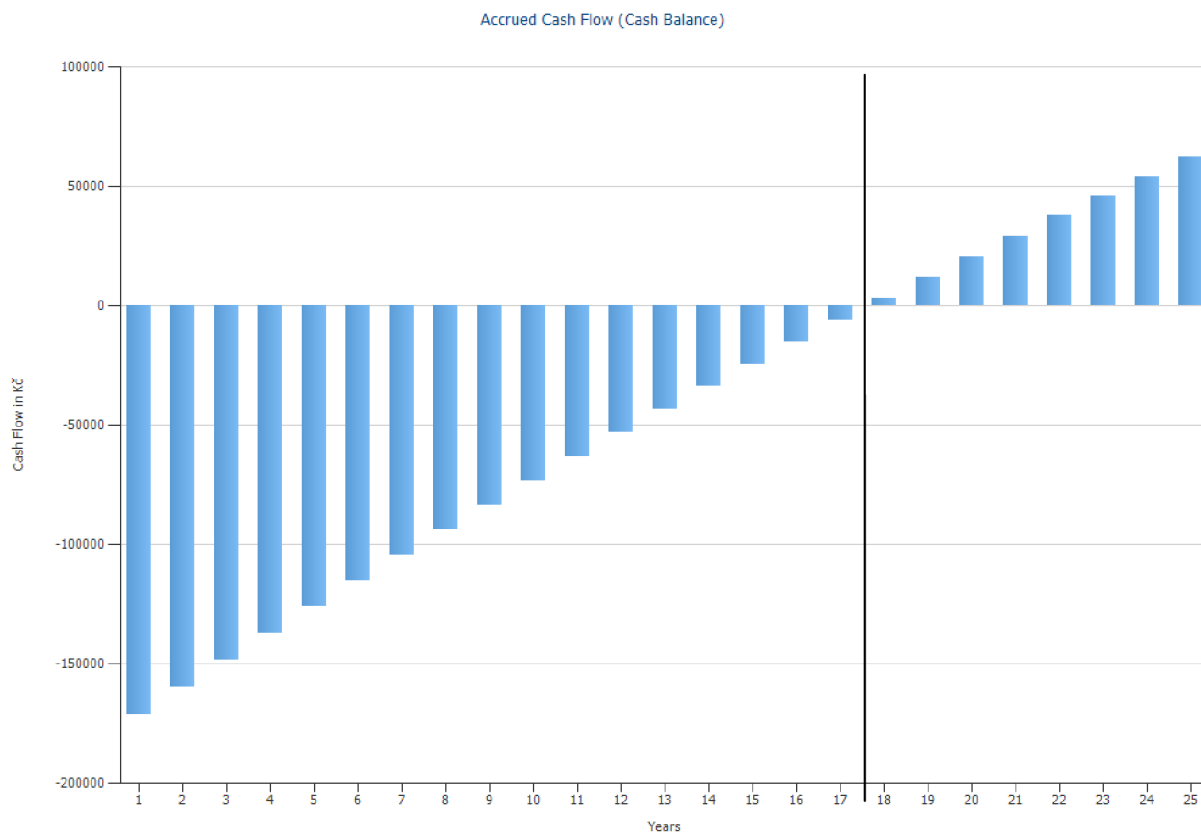
Samotná žádost o dotaci se podává elektronicky v rámci portálu Novazelenausporam.cz, poté se veškeré další potřebné dokumenty zasílají poštou nebo osobně na příslušný krajský úřad Státního fondu životního prostředí.

- Odborný posudek je základním pilířem pro získání finanční dotace. Samotný posudek obsahuje projektovou dokumentaci a energetické zhodnocení projektu. Energetické zhodnocení zpracovává energetický specialista s oprávněním ke zpracování energetických auditů, posudků nebo průkazů. Pro technickou dokumentaci to platí obdobně. Technickou dokumentaci zpracovává projektant, který je členem České komory autorizovaných inženýrů a techniků.
- Po vystavení technické dokumentace není nutná návštěva stavebního úřadu. Pokud se jedná o zdroj do 10 kWp, není nutné stavební povolení. K žádosti se úřad nevyjadřuje a pouze tuto skutečnost zaznamená.
- Krycí technický list parametrů se vyplňuje společně s energetickým specialistou. Obsahem krycího listu je soupis všech sledovaných parametrů systému a výkaz instalovaných opatření. Krycí list musíme řádně vyplnit a podepsat jak ze strany majitele tak i energetického specialisty. Pro každou podoblast si musíme nalézt ten správný formulář.
- Žádost je podávána elektronicky. Pro správné podání potřebujeme výše zmíněné dokumenty společně s občanským průkazem majitele nemovitosti. Podáním elektronické registrace si zároveň registrujeme příslušnou dotační částku. V závěru registrace nám je vygenerováno unikátní evidenční číslo a samotná žádost.
- Po vygenerování elektronické žádosti musíme nejpozději do 5-ti pracovních dnů doručit žádost a ostatní dokumenty příslušnému krajskému úřadu.
- Kontrola a přezkoumání žádosti úřadem probíhá v rozmezí 3 až 6 týdnů od podání žádosti.
- Pokud bude vše v pořádku, obdržíme dopis, který nás bude informovat o přijetí žádosti. Dále bude obsahovat dokumenty potřebné k doložení pro realizaci elektrárny.
- Posledním krokem je doložení realizace projektu, který musíme dodat nejpozději dnem stanoveným v akceptačním dopise. Jako doložení slouží například faktury a potvrzení jejich zaplacení. Pokud o dotaci žádáme zpětně, všechny tyto dokumenty přikládáme již k žádosti. [37] [38]

9.7.2 Ekonomické zhodnocení

Schválením žádosti můžeme očekávat finanční podporu. V rámci dotačního programu je výše dotace pro podoblast C.3.6. 100 000 Kč. Jako další část dotace je dotace na vytvoření technické dokumentace a to v maximální výši 5 000 Kč. Po celkovém zhodnocení investice do

FVE a odečtení dotací je realizace s vlastními finančními zdroji vyčíslena na 182 677 Kč. Na obrázku 9-8 a tabulce 9-9 je znázorněn celkový finanční tok a návratnost investice.



Obr. 9-8 Graf návratnosti investice

Tab. 9-9 Výpočet návratnosti investice [Vlastní výzkum]

| Počáteční investice vlastních finančních zdrojů 182 678 Kč | | | | |
|--|-----------|------------------------|-------------------|----------------------------|
| Rok | Úspora | Prodej energie do sítě | Roční peněžní tok | Peněžní návratnost systému |
| - | Kč | Kč | Kč | Kč |
| 1 | 10 751,08 | 429,45 | -171 497,47 | -171 497,47 |
| 2 | 11 153,28 | 445,42 | 11 598,70 | -159 898,77 |
| 3 | 10 977,58 | 442,72 | 11 420,30 | -148 478,47 |
| 4 | 10 804,24 | 440,02 | 11 244,26 | -137 234,21 |
| 5 | 10 633,24 | 437,32 | 11 070,56 | -126 163,65 |
| 6 | 10 464,55 | 434,63 | 10 899,18 | -115 264,47 |
| 7 | 10 298,15 | 431,93 | 10 730,08 | -104 534,39 |
| 8 | 10 133,99 | 429,23 | 10 563,22 | -93 971,17 |
| 9 | 9 972,05 | 426,54 | 10 398,59 | -83 572,58 |
| 10 | 9 812,31 | 423,84 | 10 236,15 | -73 336,43 |
| 11 | 9 654,74 | 421,14 | 10 075,88 | -63 260,55 |
| 12 | 9 499,31 | 418,45 | 9 917,76 | -53 342,79 |
| 13 | 9 345,99 | 415,75 | 9 761,74 | -43 581,05 |
| 14 | 9 194,77 | 413,05 | 9 607,82 | -33 973,23 |
| 15 | 9 045,60 | 410,35 | 9 455,95 | -24 517,28 |
| 16 | 8 898,47 | 407,66 | 9 306,13 | -15 211,15 |
| 17 | 8 753,35 | 404,96 | 9 158,31 | -6 052,84 |
| 18 | 8 610,21 | 402,26 | 9 012,47 | 2 959,63 |
| 19 | 8 469,03 | 399,57 | 8 868,60 | 11 828,23 |
| 20 | 8 329,79 | 396,87 | 8 726,66 | 20 554,89 |
| 21 | 8 192,46 | 394,17 | 8 586,63 | 29 141,52 |
| 22 | 8 057,02 | 391,48 | 8 448,50 | 37 590,02 |
| 23 | 7 923,44 | 388,78 | 8 312,22 | 45 902,24 |
| 24 | 7 791,70 | 386,08 | 8 177,78 | 54 080,02 |
| 25 | 7 661,78 | 383,38 | 8 045,16 | 62 125,18 |

Pro navržený systém FVE bude celková návratnost financí 17,7 let. Celková návratnost systému je určena tokem financí z vlastní úspory za elektřinu. Celkový výpočet je doplněn o degradaci panelů o 0,6%/rok. V našem případě je počítáno s průměrnou nákupní cenou elektrické energie 4,3 Kč/kWh a průměrným ročním ziskem energie z FV generátoru 3254 kWh.

10 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce řeší problematiku návrhu fotovoltaických elektráren pro domácnost a její ukládání v akumulátorech. Na začátku teoretické části bylo řešeno, zejména vysvětlení funkce a základní principy spojené s fotovoltaickým systémem, ukládáním energie a vhodností použití slunečních elektráren v České republice. Nevyšších hodnot slunečního záření je dosahováno v oblasti Jihomoravského kraje. Pro porovnání systémů byl vytvořen přehled, který obsahuje on-grid, off-grid a systémy s bateriovým úložištěm. Přehled udává základní rozdíly použití a vhodnost systému dle využití. Pro akumulaci elektrické energie se využívají akumulátory. Přehled používaných akumulátorů nalezneme ve srovnávací tabulce *Tab. 6-1*. Mezi dnes nejpoužívanější patří lithium-železo-fosfátový akumulátor, který kombinuje spolehlivost, vysokou životnost a přijatelnou cenu.

Pro správné pochopení systému fotovoltaické elektrárny bylo nutné vytvořit popis systému a jejich komponent. Nejdůležitějším elektrotechnickým zařízením systému je střídač. Střídače jsou rozděleny pro připojení do ostrovní sítě, do distribuční sítě a nebo hybridní sítě, kdy je ke střídači připojen další zdroj energie např. akumulátor.

Dále, zde byla řešena legislativa a podmínky pro získání dotace z programu Nová zelená úsporám. Hlavním úřadem zabývající se danou legislativou je Energetický regulační úřad. Dotační programy jsou rozdílné pro instalovaný systém, např. pro fotovoltaický systém s akumulací elektrické energie s celkovým využitelným ziskem $\geq 3000 \text{ kWh.rok}^{-1}$ můžeme získat dotaci až 105 000 Kč. Žádost o dotaci můžeme podávat před, během nebo po ukončení realizace, je však nutné systém zrealizovat do 12 měsíců po vyřízení žádosti. Samotná žádost musí být vyřízena do 24 měsíců od evidence podání. Žádost je podávána výhradně elektronicky a termín pro ukončení dotačního programu je dán vyčerpáním stanovených alokací a nebo nejpozději do 31. prosince 2021.

V poslední části práce je navržen a zhodnocen fotovoltaický systém s bateriovým úložištěm pro rodinný dům. Zprvu byl celý návrh dle zadání od firmy E.ON navržen v návrhovém simulačním programu PVSOL, který zároveň vypočítá návratnost systému a jeho efektivitu.

Dle zadání a požadovaných hodnot pro získání dotace, byly voleny komponenty, které tyto požadavky splňují a zároveň bylo stěžejní, aby porovnání cena/výkon bylo co nejoptimálnější. Dalším důležitým bodem pro návrh byla výrobci udaná životnost komponentů. Z tohoto důvodu byly voleny komponenty s maximální možnou životností a to z důvodu finanční návratnosti systému. Výrobci udávaná životnost jednotlivých komponentů se pohybuje okolo 20-ti let, v ideálních případech i více. U bateriového systému je udávaná životnost 20 a více let, to samé platí pro střídač a fotovoltaické panely, kde je výrobcem zaručená degradace o 15% během 25 let. V tomto ideálním případě, kdy bychom dosáhli maximálního využití životnosti komponentů, by se pro nás systém stal výdělečným a za ušetřené peníze a menší investici by jsme mohli celý systém zmodernizovat a dále využívat výhod fotovoltaické elektrárny. Životnost systému může být ale i vyšší, tímto by se zisk výrazně navýšil. Nejdražší položkou systému je akumulátor, který se po sesypání nedá opravit a je nutná jeho výměna. Možností akumulace energie pro

domácí fotovoltaickou elektrárnu může být kombinace ohřevu TUV a systému vytápění nebo ohřevu vody v bazénu. V tomto systému odpadá akumulátor elektrické energie, namísto toho je energie ukládána ve formě tepla a můžeme tak ušetřit za ohřev vody úsporou spotřeby plynu. Tento systém je finančně přijatelnější pro ty, kteří by chtěli provozovat fotovoltaickou elektrárnu, ale mají omezenou část financí. Na systém s kombinací ohřevu vody nebo vytápění se vztahuje jiná část dotačního programu Nová zelená úsporám.

Navržený systém FVE se podle předběžných výpočtů zaplatí za 17,7 roku. Pro tento výpočet je počítáno s průměrnou inflací cen elektřiny. Tyto ceny se ale mohou změnit. Samotné vyplacení dotační částky proběhne zpětně po realizaci projektu. Ve finančních výpočtech je znázorněn finanční tok s již odečtenou dotační částkou.

V příloze je přiložena technická dokumentace projektu. Dokumentace je vygenerována jako výstup ze simulačního programu PVSOL. V tomto výstupu je celkové shrnutí projektu, které obsahuje výčet zvolených komponent a jejich vlastností. V konečné fázi dokumentace jsou uvedena schémata zapojení, grafy spotřeby a generovaný výpočet návratnosti investice.

Další příloha obsahuje porovnání ideálního systému, který využije maximální životnost komponentů a systému, ve kterém se komponenty vymění po dosažení minimální životnosti.

Z ekonomického hlediska se systém, u kterého by jsme museli po uplynutí minimální životnosti, komponenty vyměnit se investice nevyplatí. Do systému by se jen investovalo bez návratnosti. Finanční bilanci je možné vidět v přílohové tabulce č.2 a grafu č.2. Pokud by komponenty vydržely jejich maximální životnost nebo i déle, systém se stane ekonomicky přijatelný a následná modernizace by byla z části financována z ušetřených financí za energii. Finanční balance systému je možné vidět v přílohové tabulce č.1 a grafu č.1. U obou systémů je sledované období 50 let.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011 [cit. 2018-12-09]. ISBN ISBN978-80-01-04937-2. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/cz/ekis/publikace?tema=49282fdb6ee5d9c524cd5552417b855a>
- [2] Fotovoltaický článek. *Wikiwand* [online]. 2013 [cit. 2018-12-09]. Dostupné z: http://www.wikiwand.com/cs/Fotovoltaický_článek
- [3] BERANOVSKÝ, Jiří, Karel MURTINGER a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika. Elektřina ze slunce*. Brno: ERA, 2007. ISBN ISBN: 978-80-7366-133-5
- [4] PETERA, Jiří a Jan HEŘMAN. FOTOVOLTAIKA. In: *Docplayer* [online]. ©2018 [cit. 2018-12-09]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/4831759-Fotovoltaika-mgr-jiri-petera-mgr-jan-herman.html>
- [5] KOSMÁK, František. Princip fotovoltaického článku. In: *Společnost elektřina.info* [online]. Praha: Praha, 2018, 2009 [cit. 2018-12-09]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/princip-fotovoltaickeho-clanku>
- [6] MORAVEC, Jan. Polovodiče: PN přechod a výroba polovodičů. In: *OENERGETICE.CZ* [online]. OM Solutions, ©2018, 2016 [cit. 2018-12-09]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/polovodice-pn-prechod-vyroba-polovodicu/>
- [7] Teorie fotovoltaiky. In: *ISOFEN ENERGY* [online]. České Budějovice: Isofen Energy, ©2009 [cit. 2018-12-09]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/fotovoltaika.aspx>
- [8] VANĚČEK, Milan. Přeměna sluneční energie v energii elektrickou. In: *Fyzikální ústav Akademie věd ČR, v. v. i.* [online]. Praha 8: Akademie věd České republiky, ©FyzikálníústavAVČR,v.v.i., 2000 [cit. 2018-12-09]. Dostupné z: <https://www.fzu.cz/popularizace/premena-slunecni-energie-v-energii-elektrickou>
- [9] Sluneční konstanta. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 2017 [cit. 2018-12-09]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sluneční_konstanta
- [10] Fotovoltaika v podmínkách České republiky. In: *ISOFEN ENERGY* [online]. České Budějovice: ISOFEN ENERGY, ©2009 [cit. 2018-12-09]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/slunecni-zareni-v-cr.aspx>
- [11] VRTEK, Mojmir. *Sluneční energie*. [Http://projekty.fs.vsb.cz](http://projekty.fs.vsb.cz). Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2012.
- [12] Akumulátor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-09]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Akumulátor>

- [13] Baterie a akumulátory v domácnosti – technologie baterií. In: *Nazeleno.cz* [online]. Brno: Narrative Media, ©2018, 2013, ©2018 [cit. 2018-12-09]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/technologie-1/baterie-a-akumulatory-v-domacnosti-technologie-baterii.aspx>
- [14] ELEKTROCHEMICKÉ ČLÁNKY. In: *Skupina ČEZ* [online]. Praha 4: ČEZ, a. s, ©2018 [cit. 2018-12-13]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/05/elclanky_2.html
- [15] CESTY K AKUMULACI ELEKTRICKÉ ENERGIE. In: *Skupina ČEZ* [online]. Praha 4: ČEZ, a. s, ©2018 [cit. 2018-12-13]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/06/cesty_1.html
- [16] HAMMERBAUER, Jiří. Olověné akumulátory. In: *Michael Canov* [online]. Chrastava: Michael Canov, ©2018 [cit. 2018-12-13]. Dostupné z: <http://canov.jergym.cz/elektro/clanky2/olov.pdf>
- [17] HRUŠKA, Pavel. Nabíjecí baterie (akumulátory) - typy (NiMH, NiCd, NiZn, Li-ion, Li-pol), chemie, jak vybrat a koupit. In: *Mrpear.net* [online]. Pavel Hruška, 2018 [cit. 2018-12-13]. Dostupné z: <http://www.mrpear.net/cz/blog/1092/nabijeci-baterie-akumulatory-typy-nimh-nicd-nizn-li-ion-li-pol-chemie-jak-vybrat-a-koupit>
- [18] SOLAR KIT 3600 AKU. In: *Ekotechnik Czech* [online]. Praha 4: EKOTECHNIK Czech, ©2006-2018 [cit. 2018-12-13]. Dostupné z: <http://www.ekotechnik.cz/produkty/solar-kit/solar-kit-3600-aku.html>
- [19] ČESKÁ REPUBLIKA. ZÁKON ze dne 31. ledna 2012 o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. In: *Zákonů České republiky*. Česká republika: Sbirka zákonů České republiky, 2012, ročník 2012, částka 59, číslo 165. Dostupné také z: https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=165/2012&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy
- [20] Legislativa pro fotovoltaické elektrárny. In: *CNE Czech Nature Energy, a. s.* [online]. Plzeň: CNE Czech Nature Energy, a. s, ©2018 [cit. 2018-12-13]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/legislativa-fotovoltaiky/>
- [21] ČESKÁ REPUBLIKA. ZÁKON ze dne 28. listopadu 2000 o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). In: *Zákonů České republiky*. Česká republika: Sbirka zákonů České republiky, 2000, ročník 2000, částka 131, číslo 458. Dostupné také z: https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=458/2000&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy
- [22] Elektřina. In: *Energetický regulační úřad* [online]. Jihlava: Energetický regulační úřad, ©2014-2018 [cit. 2018-12-13]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/elektrina>

- [23] Nová zelená úsporám. In: *Státní fond životního prostředí České republiky* [online]. Praha 4: Státní fond životního prostředí ČR, ©2018 [cit. 2018-12-13]. Dostupné z: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/nova-zelena-usporam/>
- [24] Rodinné domy – zdroje energie. In: *Státní fond životního prostředí České republiky* [online]. Praha 4: Státní fond životního prostředí ČR, ©2018 [cit. 2018-12-13]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/nabidka-dotaci/rodinne-domy-zdroje-energie/>
- [25] EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ ENERGIE ZA POMOCI ŘEŠENÍ PRO USKLADNĚNÍ ENERGIE FRONIUS. Fronius [online]. Praha: Fronius, ©2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/solar-energy/produkty/resen-pro-uskladnen-energie>
- [26] Li-ion Battery: Battery Model: LIR2450. In: EEMB [online]. Worldwide: EEMB, ©2017 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.eemb.com/battery/rechargeable-battery/li-ion-battery.html>
- [27] Návod k použití: Baterie LiFePO4 Smart. In: Victron energy: blue power [online]. The Netherlands: victron energy, ©2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.victronenergy.cz/support-and-downloads/manuals#item=manuals-lithiov-baterie-12-8v-25-6v-smart>
- [28] Výše podpory. In: Nová zelená úsporám: Dotace pro vaše lepší bydlení [online]. Praha 4: Státní fond životního prostředí ČR, ©2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://archiv.novazelenausporam.cz/vyse-podpory-3-vyzva/index.htm>
- [29] Směrnice / Závazné pokyny pro žadatele - 3. výzva - Rodinné domy. In: Nová zelená úsporám: Dotace pro vaše lepší bydlení [online]. Praha 4: Státní fond životního prostředí ČR, ©2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://archiv.novazelenausporam.cz/zavazne-pokyny-pro-zadatele-3-vyzva-rodinne-domy/index.htm>
- [30] Fotovoltaický panel - Axitec AXIpower AC-275P/156-60S. In: Jakama - Green Energy [online]. Slovensko: Jakama - Green Energy, ©2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.jakama-ge.sk/jakama-ge/eshop/0/0/5/669-Fotovoltaicky-panel-Axitec-AXIpower-AC-275P-156-60S>
- [31] Nosná konstrukce na šikmou taškovou střechu. In: SVP solar [online]. Praha 4: SVP Solar, ©2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/nosna-konstrukce-na-sikmou-taskovou-strechu/#6360>
- [32] Fronius Symo Hybrid 3.0-3-S měnič. In: Solar Partner [online]. Praha: SolarPartner, ©2018 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://shop.solarpartner.cz/fronius-symo-hybrid-3-0-3-s?tab=download>
- [33] VARTA one L and one XL. In: VARTA [online]. Nördlingen: VARTA, ©2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.varta-storage.com/products/energy/varta-one/?lang=en>

- [34] Válcová pojistková vložka CH22 690V gG 16A. In: GM electronic [online]. Praha: GM electronic, spol., 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/valcova-pojistkova-vlozka-ch22-690v-gg-16a>
- [35] PL7-B16/1 (262676) Jistič 1P 16A B 10kA Eaton. In: ELIMA [online]. Jičín: ELIMA - elektroinstalační materiál, ©2006-2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.elima.cz/obchod/b16_1-262676-jistic-10ka-eaton-p-10862.html
- [36] Svodič přepětí B+C EATON SPBT12-280/3 158330. In: K & V ELEKTRO [online]. Praha 5: K & V ELEKTRO, ©2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.e1.cz/produkt/1159540-svodice-prepeti-b-c-eaton-spbt12-280-3-158330?gclid=EAIaIQobChMI6r3wy4mE4gIVhuh3Ch04-giDEAQYAiABEgLnS_D_BwE&t=popis
- [37] Krok za krokem po realizaci. In: Nová zelená úsporám: Dotace pro vaše lepší bydlení [online]. Praha 4: Státní fond životního prostředí ČR, ©2018 [cit. 2018-12-13]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/jak-na-to/krok-za-krokem/krok-za-krokem-po-realizaci/>
- [38] Jak získat dotaci na fotovoltaiku. In: Bydlíme s Filipem [online]. Česká republika: ČEZ, a.s., ©2019, 18.7.2016 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.bydlimesfilipem.cz/cs/uspory/jak-ziskat-dotaci-na-fotovoltaiku>

PŘÍLOHY

Níže uvedené přílohy jsou uloženy na přiloženém CD.

1. Technická dokumentace návrhu FVE v programu PVSOL.
2. Porovnání systémů s využitím minimální a maximální životnosti.