

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra materiálů a technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Projekt fotovoltaické elektrárny o výkonu 200 kW pro
energetickou komunitu**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan SCHMELLER**
Osobní číslo: **E19N0051P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Téma práce: **Projekt fotovoltaické elektrárny o výkonu 200 kW pro energetickou komunitu**
Zadávající katedra: **Katedra materiálů a technologií**

Zásady pro vypracování

1. Popište FV systémy, jejich druhy, vlastnosti a uspořádání.
2. Analyzujte a uveďte současnou legislativu a možnosti podpory v oblasti realizace FV systémů.
3. Zpracujte návrh FVE o výkonu 200 kW pro energetickou komunitu ve zvolené lokalitě.
4. Zhodnoťte návrh po stránce energetické, ekonomické a ekologické.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**


Seznam doporučené literatury:

1. Henze A., Hillebrand W.; Elektrický proud ze slunce. HEL 2000.

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.**
Katedra elektroenergetiky

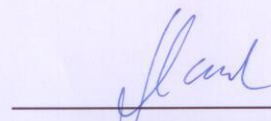
Konzultant diplomové práce: **Ing. Jindřich Čejka**
E.ON. Energie a.s. České Budějovice

Datum zadání diplomové práce: **9. října 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **27. května 2021**



Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan

L.S.



Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 9. října 2020

Abstrakt

Předkládaná práce se zaměřuje na návrh fotovoltaické elektrárny. Nejprve je popsána teorie solární energie, principu fotoelektrického jevu, typů fotovoltaických článků, druhů fotovoltaických systémů a recyklace fotovoltaických panelů. Poté je zpracována současná legislativa a možnosti podpory. Dále následuje praktický návrh fotovoltaické elektrárny o instalovaném výkonu 235,79 kWp. Poslední část je věnována energetickému, ekonomickému a ekologickému zhodnocení navrhované elektrárny.

Klíčová slova

Fotovoltaika, fotovoltaická elektrárna, FVE, obnovitelné zdroje energie, OZE, recyklace, fotovoltaické panely, fotovoltaické články, fotovoltaické systémy, legislativa, dotace

Abstract

Submitted thesis focuses on a design of a photovoltaic power plant. First of all, solar energy is described, followed by the principle of the photoelectric effect, types of photovoltaic cells and systems and recycling of photovoltaic panels. After that the current legislation and support options are elaborated. The main part of this theses is devoted to a design of a photovoltaic power plant with an installed capacity of 235,79 kW. In the last part, energy, economic and ecological evaluation of the proposed power plant are outlined.

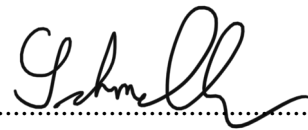
Key words

Photovoltaics, photovoltaic power plant, PV, renewable energy resources, RES, recycling, photovoltaic panels, photovoltaic cells, photovoltaic systems, legislation, subsidies

Prohlášení

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

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



.....
podpis

V Plzni dne 25.5.2021

Jan Schmeller

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Janu Škorpilovi, CSc. a konzultantovi Ing. Jindřichu Čejkovi, za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině a kamarádům, kteří mě během studia podporovali.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
1 FOTOVOLTAIKA A JEJÍ PROBLEMATIKA	12
1.1 SOLÁRNÍ ENERGIE	12
1.1.1 Fotoelektrický jev	13
1.2 FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY	14
1.2.1 Vlastnosti fotovoltaických panelů	15
1.2.2 Monokrystalické křemíkové články.....	16
1.2.3 Polykrystalické křemíkové články.....	17
1.2.4 Tenkovrstvé články	18
1.3 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY	19
1.3.1 Ostrovní systémy (off-grid).....	19
1.3.2 Síťové systémy (on-grid).....	22
1.3.3 Porovnání fotovoltaických systémů	24
1.4 RECYKLACE	24
1.4.1 Znovuvyužití panelů.....	25
1.4.2 Extrakce komponentů z odpadních panelů	26
1.4.3 Extrakce materiálů z odpadních panelů	26
2 SOUČASNÁ LEGISLATIVA V OBLASTI REALIZACE FV SYSTÉMŮ V ČESKÉ REPUBLICE	28
2.1 ENERGETICKÝ ZÁKON	30
2.1.1 Výroba elektrické energie bez licence	31
2.1.2 Financování podpory obnovitelných zdrojů energie	31
2.1.3 Daňová problematika	31
2.2 VYHLÁŠKA O ZJEDNODUŠENÉM PŘIPOJENÍ	32
2.3 STAVEBNÍ ZÁKON.....	32
2.3.1 Stavební povolení.....	33
2.4 DOTAČNÍ PROGRAMY	34
2.4.1 Nová zelená úsporám.....	34
2.4.2 Modernizační fond.....	35
2.4.3 Operační program podnikání a inovace pro konkurenceschopnost (OP PIK).....	36
2.4.4 Operační program Životní prostředí OPŽP	37
2.4.5 Operační program Praha – pól růstu ČR.....	37
2.4.6 Bezúročný úvěr na energetický úsporné projekty	37
3 NÁVRH FVE O VÝKONU 200 KW	39
3.1 POLOHA FVE A KLIMATICKÉ PODMÍNKY	39
3.2 FOTOVOLTAICKÉ PANELE.....	40
3.2.1 Parametry použitých panelů.....	41
3.3 VÝKONOVÉ OPTIMIZÉRY	42
3.3.1 Výběr výkonového optimizéru.....	43
3.3.2 Připojení výkonových optimizérů	44
3.4 DIMENZOVÁNÍ STŘÍDAČE	44
3.4.1 Výkonový faktor	45
3.4.2 Volba střídače.....	46
3.4.3 Minimální počet modulů v jednom stringu n_{min}	46
3.4.4 Maximální počet modulů v jednom stringu n_{max}	48
3.5 PROJEKTOVÁNÍ V SOFTWARE	49
3.6 INSTALACE FVE.....	51
3.7 ČASOVÝ PLÁN PROJEKTU.....	51

4	ZHODNOCENÍ	53
4.1	ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	53
4.2	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	55
4.2.1	<i>Prostá návratnost</i>	57
4.3	EKOLOGICKÉ ZHODNOCENÍ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	59
	ZÁVĚR.....	62
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	63

Úvod

Poptávka po elektrické energii se stále zvedá a tím rostou i její ceny, proto je vhodné investovat do vlastních zdrojů elektrické energie. Státy v rámci EU se zavázaly na cíli, že do roku 2030 budou obnovitelné zdroje energie tvořit 32% podíl z celkové spotřebované energie EU, do roku 2020 to bylo 20 % [1]. Zvyšující se poptávkou po zelené energii a po snižování uhlíkové stopy, se jako vhodný energetický zdroj nabízí fotovoltaické elektrárny. Ke konci roku 2020 jsou dle spolku Solární asociace v České republice instalovány FVE o celkovém výkonu 2 226,8 MWp [2].

Předkládaná diplomová práce je členěna do čtyř částí. První, teoretická část je zaměřena na způsob výroby elektrické energie pomocí sluneční energie. Je zde popsán základní princip fotovoltaického jevu. Dále jsou uvedeny informace o fotovoltaických článcích a panelech, o jejich vlastnostech a o základním rozdělení na monokrystalické, polykrystalické křemíkové články a tenkovrstvé články. Poté je zde sepsán rozdíl mezi ostrovními a síťovými systémy a jsou popsány jejich vlastnosti. U systémů jsou vypsány různé způsoby využití v praxi a nechybí ani pár stránek o recyklaci fotovoltaických panelů. Ve druhé části je uvedena současná legislativa a možnosti podpory v oblasti realizace fotovoltaických systémů v ČR. Třetí část je věnována návrhu projektu střešní fotovoltaické elektrárny v Prachaticích ve spolupráci s E.ON Energie, a.s. Závěrečná část obsahuje energetické, ekonomické a ekologické zhodnocení navrhované elektrárny.

Seznam symbolů a zkratek

BSF.....	Black Surface Field
EU ETS.....	European Union Emmission Trading Scheme
ERÚ	Energetický regulační ústav
FVE.....	Fotovoltaika, fotovoltaická elektrárna
MPP	Bod maximálního výkonu, pracovní bod
MPPT.....	Sledovač bodu maximálního výkonu
NOCT	Jmenovitá provozní teplota článku
OZE	Obnovitelné zdroje energie
STC.....	Standardní testovací podmínky
TCO	Transparent Conductive Oxide
SiN _x	Nestechiometrický nitrid křemíku
SiO ₂	Oxid křemičitý

1 Fotovoltaika a její problematika

Fotovoltaika patří mezi čisté obnovitelné zdroje energie, jejíž ceny stále klesají, zatímco její účinnost roste a stává se tak stále více populárním řešením v oblasti výroby elektrické energie. Roční míra instalací fotovoltaických elektráren typu off-grid se zvýšila mezi lety 2010 a 2019 o více než 35 % [3].

V Německu se v roce 1990 ceny fotovoltaického střešního systému o výkonu 10 až 100 kWp pohybovaly kolem 14 000 € za 1 kWp. Koncem roku 2019 stály tyto systémy v průměru asi 1 050 € za 1 kWp. Jedná se tedy o 92% regresi přibližných čistých cen za období 29 let. Odpovídající roční průměrná míra snížení cen je cca 8,5 %. [3]

Fotovoltaické panely pracují na principu fotoelektrického jevu, kterým jsou určité materiály schopny absorbovat světelné částice (fotony) a uvolňovat tak elektrony vytvářející elektrický proud.

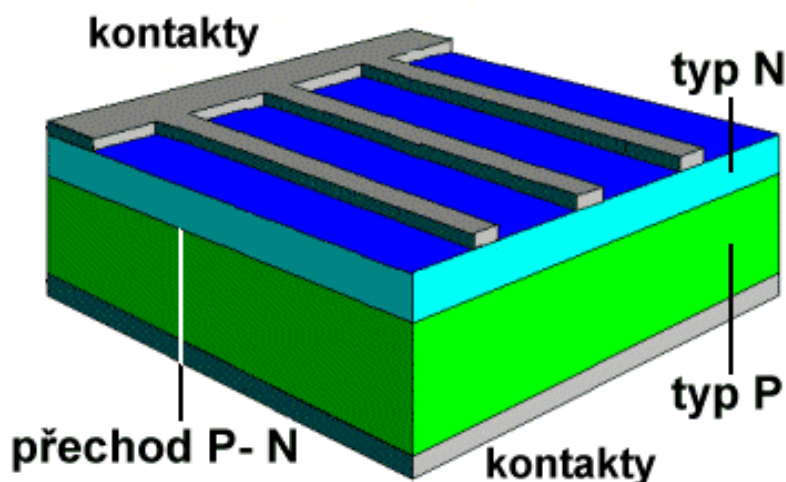
1.1 Solární energie

Slunce, obrovský termojaderný reaktor, dodává Zemi energii již více než 4 miliardy let. V nitru Slunce probíhá při velmi vysokých teplotách termojaderná fúze, kdy se 4 jádra vodíku mění na jádro hélia. Za jednu sekundu se tak na hélium přemění cca 600 milionů tun vodíku a část této hmotnosti se vyzáří. Na Zemi dopadne jen zhruba jedna dvoumiliardtina této celkové vyzářené energie, která již miliony let umožňuje život na Zemi. [4]

Sluneční záření je poměrně konstantní a je dáno vzdáleností Země od Slunce. Solární konstanta neboli také ozáření Sluncem mimo atmosféru dosahuje hodnoty 1353 W/m^2 . Nicméně vlivem působení atmosférických podmínek je povrch Země ozařován s různou intenzitou. V závislosti na denní době a na počasí se mění ozáření v České republice v rozmezí mezi 0 a 1000 W/m^2 , kdy se 0 W/m^2 objeví v noci a 1000 W/m^2 při slunečném počasí kolem poledne. Maximální hodnota intenzity skoro nezávisí na lokaci, například na rovníku je jen nepatrně vyšší. Rozlišují se dva typy záření, záření přímé a nepřímé. Nepřímé záření nastává při oblačném počasí, přímé naopak když je počasí jasné. V ročním průměru ve střední Evropě dopadne na zemský povrch zhruba 1/3 přímého záření. [4]

1.1.1 Fotelektrický jev

Pro vznik fotovoltaického jevu je zapotřebí fotovoltaického článku. Fotovoltaický článek si můžeme představit jako polovodičovou diodu, tvořenou ze dvou různých polovodičů, typu N a typu P. Polovodiče jsou navzájem spojeny a vytváří tak přechod PN, na který může dopadat sluneční záření. Základ tvoří plátek krystalického křemíku typu P, jeho spodní strana je potištěna vodivou stříbrnou mřížkou. Horní strana je tvořena cca 500 nm silnou vrstvou polovodiče typu N. Zde jsou za pomoci sítotisku vytvořeny úzké vodivé kontakty. Ve vrstvě typu N se nachází přebytek záporných nábojů (elektronů). Vrstva typu P jich obsahuje nedostatek, vznikají zde kladné náboje (díry). PN přechod zabraňuje volnému přechodu elektronů z vrstvy typu N do vrstvy typu P. V místě přechodu PN se vytvoří elektrická bariéra. Klíčovou vlastností přechodu PN je, že umožňuje přechod elektronů z vrstvy P do vrstvy N. Dopad světelného záření na povrch fotovoltaického článku způsobí předání energie z fotonů do atomů v krystalové mřížce křemíku a uvolní z ní elektrony. Pokud by mezi vrstvami nebyla bariéra, elektrony by volně přecházely v krystalu z místa přebytku do místa nedostatku. Nastala by jejich rekombinace. Kvůli přechodu PN se elektrony hromadí v horní vrstvě typu N a vzniká tak mezi horní a spodní vrstvou elektrické napětí (cca 0,6 V). Při připojení spotřebiče mezi spodní a horní kontakt fotočlánku je tak vytvořen uzavřený elektrický obvod a elektrony z horní vrstvy prochází spotřebičem do spodního kontaktu, tj. prochází elektrický proud. Na obrázku (*Obr. 1*) je znázorněna struktura fotovoltaického článku. Rozměry jednoho článku jsou cca 10 x 10 cm. [5, 6]



Obr. 1: Struktura fotovoltaického článku (převzato z [5])

Pro vznik fotovoltaického jevu je nutné, aby dopadající foton měl energii alespoň 1,12 eV, křemík jej pak absorbuje a v krystalu se vytvoří volný elektron a volná díra. Větší množství energie bude mít za následek zvýšení teploty a ztrát. Když bude energie fotonu menší, tak projde křemíkem bez toho, aby se v něm absorboval.

1.2 Fotovoltaické články

Jedná se o ploché elektronické součástky, které můžou po dopadu světla generovat elektrické napětí mezi svými kontaktními plochy a vytvářet tak elektrický proud. Oproti solárním kolektorům, které se využívají k ohřevu vody či vytápění, slouží fotovoltaické články k přímé přeměně sluneční energie na energii elektrickou. Fotovoltaické články se také mohou ohřívat, zde se ale jedná pouze o vedlejší negativní efekt. [4, 7]

Zapojení více fotovoltaických článků do série vytváří modul, který se nazývá fotovoltaický panel. Napětí na fotovoltaickém panelu se pohybuje mezi 12 až 100 V. Sériové propojení řetězce fotovoltaických panelů se označuje jako string. [8]

Nejvíce rozšířené fotovoltaické panely jsou na bázi křemíku, které mohou být buď monokrystalické, polykrystalické nebo amorfni na bázi tenkých vrstev [9]. Důvodem použití křemíku je několik. Jedná se o velmi dostupný, levný a nejlépe prozkoumaný polovodič, vyskytující se v přírodě ve formě oxidu křemičitého (křemíku), který má dobrou mechanickou odolnost a chemickou stabilitu. Šířka zakázaného pásu křemíku ΔE_G odpovídající hodnotě cca 1,1 eV je také vyhovující.

Důležité je také zmínit další možné fotovoltaické panely, které jsou založeny na jiných bázích. Dají se kategorizovat do dvou skupin. V jedné skupině jsou levnější s menší účinností, například fotovoltaické panely na bázi organických polymerních vrstev. V druhé skupině jsou výrazně dražší, avšak mají vyšší účinnost přeměny energie. Fotovoltaické panely z druhé skupiny se využívají výhradně pro speciální aplikace (ve vesmíru) a jsou založeny na bázi GaAs. [9]

1.2.1 Vlastnosti fotovoltaických panelů

Mezi nejdůležitější vlastnosti fotovoltaických panelů patří účinnost, teplotní koeficient solárního panelu a zastínění. Účinnost fotovoltaického panelu udává, kolik sluneční energie dokáže daný panel přeměnit na použitelnou elektrickou energii. Hodnoty účinnosti se v dnešní době a v závislosti na typu použitých komerčních panelech pohybují od 10 do 22 %.

Teplota fotovoltaického panelu má dle zákonů termodynamiky přímý vliv na jeho schopnost vyrábět elektrickou energii. U fotovoltaických panelů se tento vliv sleduje prostřednictvím teplotního koeficientu vyjádřeného jako procentuální pokles výkonu při každém zvýšení teploty o 1 °C z referenční teploty 25 °C. U většiny fotovoltaických panelů se teplotní koeficient pohybuje v rozmezí od -0,3 do -0,5 %. S rostoucí teplotou se tedy snižuje účinnost fotovoltaického panelu podle lineárního vztahu [10]:

$$\eta_{FV} = \eta_{ref} \cdot \left[1 + \frac{\gamma}{100} \cdot (t_{FV} - t_{ref}) \right] \quad (1)$$

t_{FV} – teplota fotovoltaického článku [°C]

η_{ref} – referenční účinnost [%] při normovaných zkušebních podmínkách (1000 W/m², 25 °C)

t_{ref} – referenční hodnota teploty článku (25 °C)

γ – teplotní součinitel výkonu pro daný panel [%/K]

Nejvýznamnější negativní dopad na výrobu elektrické energie fotovoltaickými panely má zastínění. Fotovoltaické panely jsou vůči zastínění velmi citlivé. Zastínění, byť jen malé plochy jednoho fotovoltaického panelu může mít za následek velký dopad na snížení výkonu celého fotovoltaického systému. Podle okolností je možné, že i když je zakryto stínem pouze 1 % jediného fotovoltaického panelu, tak výroba elektrické energie v celém systému klesne až o 50–80 %. Pokud je to možné je nezbytně nutné se zastínění vyvarovat. Pro omezení vlivu zastínění lze využít různé varianty [11]:

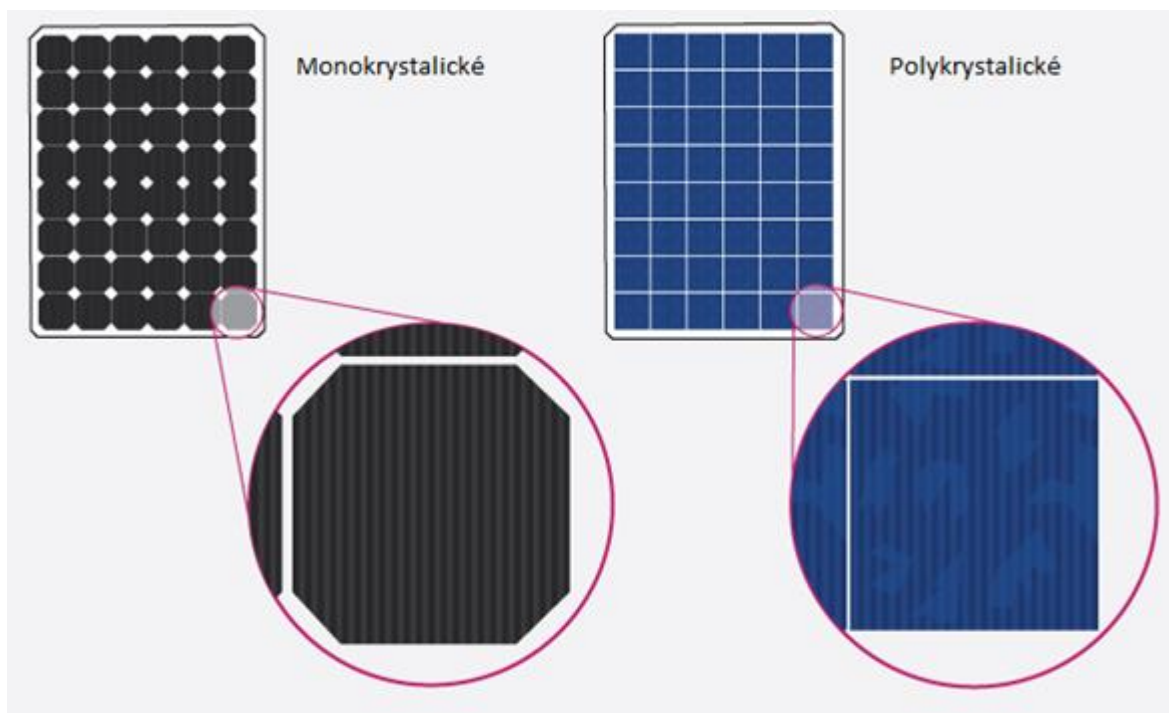
- Mikroinvertory
- Bypass diody

Na rozdíl od klasických systémů s centralizovaným invertorem pro systém fotovoltaických panelů jsou mikroinvertory spojeny s každým solárním panelem. Zastínění jednoho panelu tak neovlivňuje zbylý systém. „Bypass“ diody lze připojit jak mezi články ve fotovoltaických panelech, tak i mezi solární panely. [11]

1.2.2 Monokrystalické křemíkové články

Výroba monokrystalických křemíkových článků probíhá pomocí takzvané „Czochraleského“ metody, při které se vsádka křemíku umístí do nádrže s roztaveným čistým křemíkem při vysoké teplotě. Vsádka se poté vytáhne a kolem ní se usadí roztavený křemík a vytvoří tak jediný krystal. Tento velký krystal, ingot, je dále krájen na tenké destičky (wafery) [12]. Kvůli tomu, že se článek skládá z jediného (mono) krystalu, mají elektrony generující elektrický proud více prostoru k pohybu, díky tomu jsou monokrystalické články účinnější než polykrystalické [13]. Na obrázku (*obr. 2*) je znázorněno porovnání struktury monokrystalického a polykrystalického článku. Monokrystalický článek se dá snadno rozeznat podle tvaru křemíkových destiček, které mají charakteristický čtvercový tvar se zaříznutými rohy. Monokrystalické panely jsou složeny obvykle ze 60, 72 či 120 fotovoltaických článků [12].

Účinnost monokrystalických křemíkových panelů se pohybuje mezi 17 až 22 %. Vyšší účinnost znamená, že k dosažení dané energetické kapacity vyžadují méně prostoru. Monokrystalické solární panely tedy budou vykazovat obvykle větší výkon než polykrystalické nebo tenkovrstvé panely. Z toho vyplývá potřeba menšího množství fotovoltaických panelů ve fotovoltaickém systému k dosažení stejně vyrobené energie oproti polykrystalickým či amorfním panelům. [12]



Obr. 2: Detail struktury článku monokrystalických a polykrystalických panelů (převzato a upraveno z [13])

K negativům monokrystalických panelů patří vzhledem ke způsobu jejich výroby vyšší cena oproti ostatním druhům. Nicméně díky neustálému zlepšování technologie se cenový rozdíl zmenšil a řadí se tak mezi aktuálně nejprodávanější panely. Cena monokrystalických panelů je přibližně o 1 Kč za 1 W větší než u polykrystalických [12].

1.2.3 Polykrystalické křemíkové články

Polykrystalické články se taktéž vyrábí z křemíku. Sádka krystalu se vloží do roztaveného křemíku. Místo vytažení sádky je však celá vana křemíku ochlazena. Tímto procesem dochází k vytvoření více krystalů. Elektronů v každém polykrystalickém článku mají omezený prostor k pohybu, který je zapříčiněn větším množstvím krystalů v článku. Důsledkem toho je relativně nižší účinnost fotovoltaických polykrystalických panelů.

Účinnost těchto panelů bývá 15 až 17 %. Stejně jako u monokrystalických článků jsou polykrystalické panely složeny ze 60, 72 či 120 článků. Zlepšováním kvality se podařilo dosáhnout výkonu u standardních 60 článkových panelů z 240 W na více než 300 W. Větší množství krystalů způsobuje, že mají tyto panely mramorově modrou barvu. [12–14]

1.2.4 Tenkovrstvé články

U tenkovrstvých fotovoltaických článků se využívá velmi nákladných polovodičových materiálů, proto je nezbytné technologickým zpracováním omezit spotřebu materiálu. Oproti krystalickým článkům s tloušťkou v řádech desetin milimetru je pomocí tenkovrstvé technologie docíleno tloušťky v řádech tisícín milimetru.

Tato metoda využívá různé materiály jako například amorfni křemík (a-Si), selenid mědi a india či telurid kadmia (CdTe), avšak jejich postup výroby je víceméně podobný. Základem je většinou skleněná nosná plocha. Při použití polymeru jako nosné plochy je možné vyrábět flexibilní tenkovrstvé články. Obrázek (Obr. 3) znázorňuje flexibilní tenkovrstvý fotovoltaický panel. Na použitou nosnou plochu se nástřikem aplikuje vodivá transparentní vrstva TCO. Pomocí laseru či mikrofrézy jsou vrstvy rozděleny na pásy, vytvářející jednotlivé články solárních panelů. Vytvořené články jsou podobně jako u krystalických článků zapojeny sériově, tím se docílí vyššího elektrického napětí. [7]



Obr. 3: Flexibilní tenkovrstvý fotovoltaický panel (převzato z [12])

Polovodiče a dotující příměsi jsou poté za vysokých teplot napařovány. U napařování křemíku jako polovodiče je původní krystalická struktura ztracena, vzniká amorfni křemík. Sítotiskovou technologií se nanáší na zadní stranu vrstva kontaktního materiálu (např. hliník). Tato vrstva je dále utěsněna vrstvou polymeru kvůli izolaci proti vlhkosti. [7]

Účinnost těchto komerčně dostupných panelů je nejnižší. Pohybuje v rozmezí 10 až 13 % avšak v laboratorních podmínkách se vědcům nedávno (report z 16. září 2020) podařilo dosáhnout 23,4% [3] účinnosti u prototypů tenkovrstvých článků z mědi selenid india galia (CIGS). Nevýhodou kromě nízké účinnosti je také kratší životnost fotovoltaických panelů. Tenkovrstvé panely rychleji degradují a je nutné je častěji měnit. [12]

1.3 Fotovoltaické systémy

Fotovoltaické systémy se skládají z jednoho či více fotovoltaických panelů v kombinaci s invertorem a s dalšími elektrickými a mechanickými součástky používanými k výrobě elektřiny ze sluneční energie [15]. Základní rozdělení fotovoltaických systémů se dělí na systémy síťové a systémy ostrovní.

1.3.1 Ostrovní systémy (off-grid)

Ostrovní systémy se vyznačují tím, že nejsou připojeny do elektrické sítě, využívají pouze svoji vyrobenou elektrickou energii, a tedy jsou plně autonomní. Uplatnění nacházejí zejména v místech, kde je obtížné či nemožné připojení k veřejné napájecí síti, či v místech, kde by výstavba nové přípojky byla zcela nevýhodná. Dále se vyskytují u malých aplikacích, u kterých by bylo použití výměnných baterií dražší a neefektivní řešení jako například kalkulačka nebo hodinky. [4, 7]

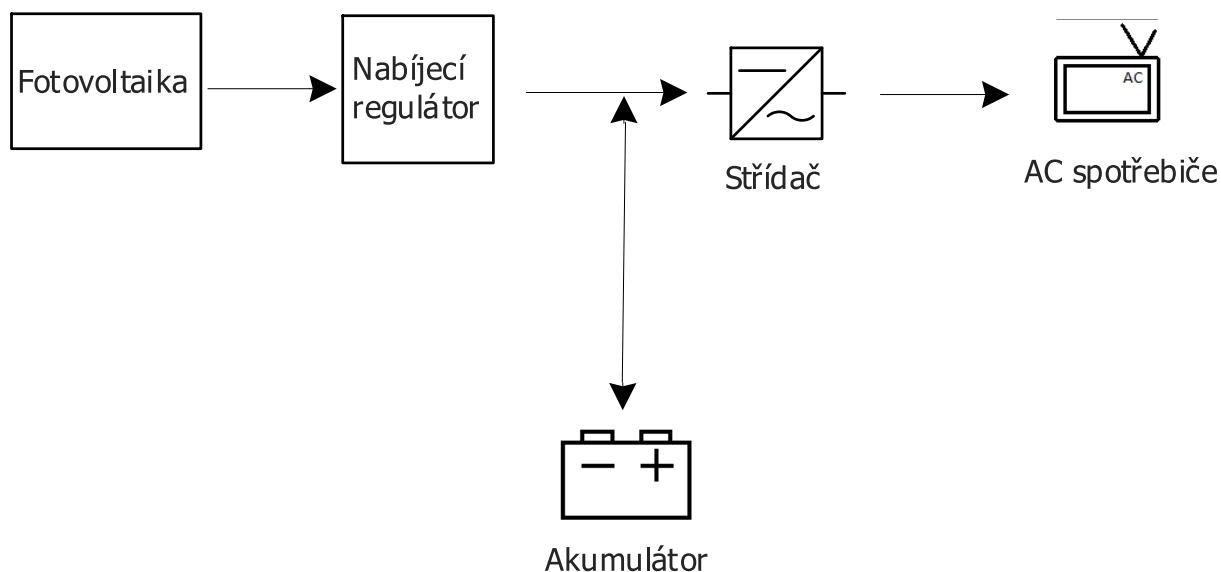
Zhruba 2 miliardy lidí nemají přístup k elektrické energii [7]. Pro místa, která jsou příliš vzdálená od sítě a jejichž náklady na kabeláž by byly moc drahé se nabízí možnost ostrovních systémů, které se v dnešní době používají pro systémy s menším výkonem. Další variantou může být výstavba například diesela agregátů, které mají z hlediska nákladů a připojení na síť při vyšších výkonech přednost [7].

Instalace ostrovních systémů není nijak náročná. Základní prvky ostrovního systému zahrnují [7]:

- fotovoltaický modul
- nabíjecí regulátor
- akumulátorovou baterii
- spotřebič

Akumulátor slouží k zajištění dodávky elektrické energie v noci a při nepříznivém počasí. Nejčastěji se díky své ceně využívá olovený nebo lithium-iontový akumulátor. Dále je možné použít speciálních solárních baterií, které mají vyšší životnost, ta se ale výrazně promítne na ceně. Akumulátory jsou velice citlivé na přebíjení či nedobíjení, a proto je nutné je chránit. K tomu poslouží nabíjecí regulátor. Ten je přímo spojen k akumulátoru, fotovoltaickému modulu a spotřebiči. Je nezbytně nutné při nabíjení akumulátoru nezaměnit kladný a záporný pól, došlo by ke zkratu. Při vybití baterie nabíjecí regulátor odpojí spotřebič a šetří tak akumulátor. Při nabití akumulátoru na minimální stanovenou hladinu nabíjecí regulátor znovu zapojí spotřebič. Pokud bude kapacita akumulátoru plně nabitá, tak regulátor odpojí fotovoltaický modul a zabrání tak přebíjení, fotovoltaické moduly dále dodávají energii do spotřebičů. [7]

U ostrovních fotovoltaických systémů se doporučuje používat nejúspornějších spotřebičů, a to z hlediska snížení nákladů. Jelikož ostrovní solární systémy generují stejnosměrné napětí, tak by se zde měly používat pouze stejnosměrné spotřebiče jako například speciální ledničky či svítidla. Při využití spotřebičů na střídavé napětí je nutné vybavit systém ostrovním měničem. Ostrovní měnič slouží k transformaci stejnosměrného napětí akumulátoru na střídavé. Na obrázku (*Obr. 4*) je nakresleno a popsáno základní schéma ostrovního fotovoltaického systému s využitím jak pro stejnosměrné, tak pro střídavé spotřebiče. Při použití pouze stejnosměrných spotřebičů je střídač úplně vynechán.



Obr. 4: Schéma ostrovního fotovoltaického systému (upraveno z [16])

Místnost, ve které je akumulátor nainstalován, musí být dokonale odvětrána, kvůli možnosti uvolňování vodíku. Olověné akumulátory obsahují zředěnou kyselinu, u které se postupem času odpařuje voda a je nutné ji pravidelně doplňovat. Na trhu se nachází také bezúdržbové akumulátory, u kterých se voda váže na speciální gel a ten znemožní její odpaření. [7]

Mezi další typy charakteristických příkladů ostrovních systémů patří například různé mobilní systémy na autech, lodích apod. Mohou se nacházet v horských chatách či domech, které se vyskytují vně civilizace. Může se jednat i o vesnice v rozvojových zemích u kterých je potřeba elektrifikace. Ostrovní systémy také nalézají využití v parkovacích automatech či v systémech určených k monitorování a řízení dopravy, u dálničních telefonních hlásek (SOS telefony), dokonce i u bójek a majáků. Účelné umístění ostrovních systémů je taktéž na zahradě, kdy lze tímto způsobem napájet různé vchodové či venkovní osvětlení, bazénové osvětlení, jezírková a studnová čerpadla, závlahy a další menší zahradní vybavení [17]. Další aplikací mohou být čerpací systémy určené k solární dezinfekci vody a také k odsolování mořské vody. Velký potenciál se nachází ve využití v zemědělském odvětví. [16]

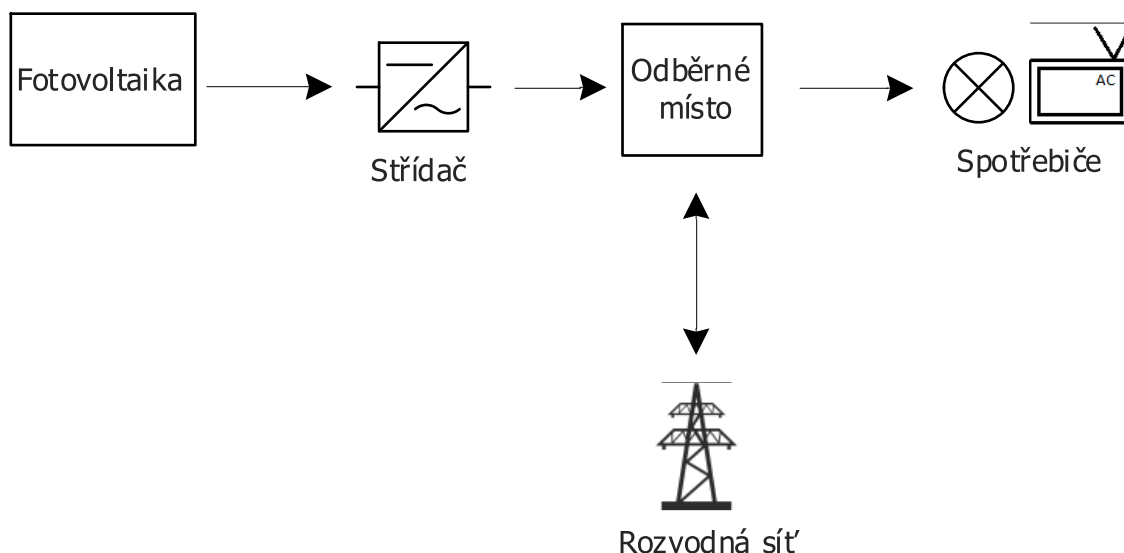
Cena velkého množství fotovoltaických panelů může být značně vysoká, proto pro provozovatele není úplně bezpečné, aby využívali vzdálené ostrovní fotovoltaické systémy, protože zde hrozí vysoké riziko odcizení. [7]

1.3.2 Síťové systémy (on-grid)

Síťové fotovoltaické systémy patří k nejběžnějším a široce využívaným systémům v domácnostech a podnicích. Jedná se o fotovoltaické systémy, které jsou připojeny k distribuční síti. Obrázek (Obr. 5) znázorňuje zjednodušené základní schéma síťového fotovoltaického systému.

V dnešní době se kromě fotovoltaických systémů použitých na střechách rodinných domů prosazují také systémy na různých budovách. Jedná se například o školy, zemědělské stavby, sklady, nákupní centra a další. Střechy těchto budov nabízejí obrovský nevyužitý energetický potenciál vhodný k využití fotovoltaickými systémy. Svůj účel také nalézají na stavebních zařízeních, například zastřešení nástupišť či protihlukové stěny. Dále jsou zejména společnostmi provozovateli a fondů zakládány velké fotovoltaické systémy umístěné na volných plochách. [16]

Fotovoltaické panely generují stejnosměrné napětí. Pro připojení k distribuční síti, která pracuje se střídavým napětím, je zapotřebí měniče, konkrétně síťového střídače. Solární měnič (invertor) transformuje stejnosměrné napětí na střídavé. Hlavní požadavek invertoru je vysoká účinnost, která dosahuje u moderních měničů více než 98 % [3]. Větší účinnost bude mít za následek nižší ztráty sluneční energie při transformaci. Invertory neustále sledují stav sítě a při jejím výpadku okamžitě zareagují a vypnou solární napájení. Vypnutí zajistí ochranu pracovníků provádějících opravy závad v distribuční síti před proudem ze solárního systému. Vypnutí by ale odpojilo od elektrického proudu i majitele solárního systému, proto je možné zavedení takzvaného hybridního systému. [7]



Obr.5: Základní schéma síťového fotovoltaického systému (upraveno z [16])

Hybridní systém v případě potřeby převede režim solárního systému do ostrovního systému. Většina hybridních systémů v kombinaci s akumulací baterií je schopna se sama izolovat od sítě a pokračovat v dodávce energie během výpadku. Nicméně kvůli nízké četnosti výpadků dodávky elektrického proudu se dodatečné technické vybavení nemusí vyplatit. Nejedná se ale o neojedinělé řešení. [7, 18]

Hybridní systém je vhodný použít pro domácí či firemní systémy, které využívají UPS, tedy zdroje nepřerušovaného napětí, pro servery či počítače. Takovéto systémy nesmějí být v žádném případě neočekávaně vypnuty, v opačném případě by mohla hrozit například ztráta dat. [19]

Invertor se nepoužívá jenom k transformaci elektrického napětí, nýbrž také zajišťuje funkci fotovoltaických panelů při optimálním napětí a slouží k odvodu maximálního možného výkonu. Pro instalaci a správnou funkci invertoru je potřeba znát celkový výkon fotovoltaického systému. Obecně platí, že výběr velikosti invertorů by měl být podobný jmenovitému výkonu daného solárního systému, tedy 1 kW střídače zvládne 1 kWp fotovoltaické elektrárny. [7, 20]

1.3.3 Porovnání fotovoltaických systémů

Tab. 1: Základní porovnání ostrovních, síťových a hybridních fotovoltaických systémů [21]

Ostrovní systémy	Síťové systémy	Hybridní systémy
nepotřebují připojení k distribuční síti	připojeny k distribuční síti	připojeny k distribuční síti, ale mohou fungovat i bez sítě
uchovávají elektrickou energii v bateriích	přebytečnou elektrickou energii je možno exportovat zpátky do distribuční sítě	elektrickou energii uchovávají v bateriích a je možné ji exportovat zpátky do sítě, přednostně se využívá elektrická energii z baterií
nejsou ovlivněny výpadky distribuční sítě	nefunkční při výpadcích distribuční sítě	jsou schopny fungovat při výpadcích distribuční sítě
dražší montáž a údržba	levnější	dražší
komplexnější provedení	základní systém obsahuje méně součástí	komplexnější provedení

Pro lepší přehlednost byla vytvořena tabulka (Tab. 1), ze které jsou patrné výhody či nevýhody, a tedy že každý ze zmíněných systémů je vhodný pro odlišné aplikace.

1.4 Recyklace

Zpětný odběr a recyklace fotovoltaických panelů v ČR jsou zahrnuty v předem zaplaceném recyklačním poplatku. Ten zaplatil výrobce, dodavatel anebo u starších FVE jejich provozovatel. Recyklace a odstranění elektroodpadu z fotovoltaických panelů je stanovena zákonem č 185/2001 Sb. Zákon o odpadech v § 37. Zde je uvedeno, že každý výrobce je povinen na svůj účet poskytnout zpětný odběr elektrozařízení a oddělený sběr elektroodpadu z fotovoltaických panelů FVE. Minimální výše poplatku je stanovena na 8,50 Kč/kg. To znamená, že za 23kg fotovoltaický panel byl před uvedením na trh zaplacen recyklační poplatek ve výši 195,50 Kč. Tento poplatek se zasílá na účelově vyhrazený bankovní účet, ze kterého se bude hradit pozdější recyklace fotovoltaických panelů. Počítá se s tím, že výnosy z recyklace fotovoltaických panelů budou ziskové, z toho lze vyvodit, že o odpad z fotovoltaických panelů bude dobře postaráno. Předpokládá se, že z jednoho 60článekového polykrystalického panelu by se měl výnos pohybovat od 230 Kč do 420 Kč k čemuž lze připočítat ekologické poplatky ve výši 150 Kč až 200 Kč. Náklady jsou spojené s přepravou ze sběrných míst, uskladněním, výplat mezd, energií a odpisů na zpracování odpadu (ty by měly být plně pokryty recyklačním poplatkem). [22]

Zákon o odpadech dále stanovuje minimální míru recyklace fotovoltaických panelů na 85 % jejich hmotnosti. Aktuální technologie umožňují recyklaci více než 95 %. Tyto procenta opakované využitelnosti materiálů jsou z ekonomického hlediska velice důležitá, protože díky těmto znovu využitým materiálům může firma, co se zabývá recyklací, vydělat. [22]

Podle mezinárodní mezivládní organizace IRENA, která se věnuje podpoře využívání obnovitelných energetických zdrojů, se odhaduje, že se do roku 2050 nastřádá až 78 mil. tun odpadních fotovoltaických panelů a v každém následujícím roce cca 6 mil. tun. V roce 2018 bylo vyrobeno cca 102 GWp fotovoltaických panelů, při standardní životnosti 25 let se z nich v roce 2043 stane odpad. Zhruba 90 % veškerých panelů jsou panely křemíkové. [22, 23]

Recyklaci fotovoltaických panelů je možné provést několika způsoby [23]:

- Znovuvyužití panelů
- Extrakce komponentů
- Extrakce materiálů

Zkoumáním struktur křemíkových panelů a článků lze určit, které komponenty stojí za obnovení.

1.4.1 Znovuvyužití panelů

Mnoho fotovoltaických panelů vyřazených z provozu je stále funkčních, jen pracují s nižší účinností. Takové panely by se mohly po provedení několika kroků znovu použít. Tyto kroky zahrnují očištění panelů, vizuální inspekci poškození panelů a test účinnosti pro získání recertifikace. Pokud by polovina fotovoltaických panelů z roku 2018 označených jako odpad stále fungovala, tak by bylo možné v roce 2043 znovu využít 51 GWp panelů. [23]

1.4.2 Extrakce komponentů z odpadních panelů

Pokud by panely operovaly s moc nízkou účinností nebo by vykazovaly poškození, pak by bylo možné extrahovat některé z jejich komponent a znovu je využít u nových panelů. Tedy za podmínky dostačující kvality a výkonu jako u nových panelů. Mezi komponenty, které by se daly extrahovat patří skleněné tabule a křemíkové články. Hliníkový rám a plastové pouzdro spojovací skříňky se znovu nemohou využít, poněvadž se musí odstranit silou. Polymerní vrstvy obsahující zapouzdřený ethylenvinylacetát a spodní vrstvu polyvinylfluoridu utrpí degradaci po 25 letech absorpce ultrafialového záření a tepelných cyklů, v praxi se momentálně nerecyklují. [23]

K vyjmutí komponentů pro opětovné použití je nutné šetrně a čistě odstranit polymerní vrstvy, aby se křemíkové články a skleněná tabule nikterak neporušily. Poté je potřeba provést několik kroků [23]:

- 1. očistit panely
- 2. vizuálně zkontrolovat poškození panelů
- 3. odstranit spojovací skříňku z panelů
- 4. vyjmout měděné vodiče ze spojovací skříňky
- 5. odebrat hliníkový rám
- 6. oddělit křemíkové články od skleněné tabule
- 7. provést test účinnosti pro třídění znovupoužitelných článků

1.4.3 Extrakce materiálů z odpadních panelů

Jestliže není možné žádnou komponentu znovu využít, pak se naskýtá příležitost extrahovat přímo materiál, který se dále využije pro výrobu nových komponent. Například z nejdostupnějšího a nejpoužívanějšího křemíkového BSF článku lze získat stříbro z přední elektrody a zadní pájecí záplaty, křemík, toxické olovo a cín z pájky a také měď ze spojů.

Hliník a SiN_x v článcích je nepravděpodobné obnovit kvůli obtížnosti a nízké hodnotě. V tabulce (Tab. 2) jsou k dispozici váhové podíly materiálů obsažené v běžných fotovoltaických panelech. [23]

Tab. 2: Materiálové složení fotovoltaického panelu (převzato z [22])

Použitý materiál	Váhový podíl [%]
Sklo	73,9
Plasty	7,7
Al	7,6
Cu	4,6
Si	2,3
Ag	0,13
Sn	0,043
Pb	0,024
Silikonové těsnění, diody, konektory	3,7

Extrakce materiálů probíhá v krocích podobných jako u extrakce komponentů, 1. až 5. krok je stejný, dále [23]:

- 6. oddělení křemíkové buňky od skleněné tabule a polymerů,
- 7. rozpuštění kovů z článků,
- 8. odebrání kovů z výluhu,
- 9. vyjmutí SiN_x , emitoru a zadního povrchu křemíkové základny.

Materiály je možné získat s využitím mechanicko-chemické recyklace či tepelné recyklace o teplotách převyšujících 500 °C. [23]

2 Současná legislativa v oblasti realizace FV systémů v České republice

Skládá se ze zákonů, nařízení vlády, vyhlášek ministerstev, vyhlášek ERÚ a cenových rozhodnutí ERÚ.

Zákony [24]:

- Zákon České národní rady o daních z příjmu, č. 586/1992 Sb.
- Zákon České národní rady o rezervách pro zjištění základu daně z příjmu, č. 593/1992 Sb.
- Zákon o hospodaření energií, č. 406/2000 Sb.
- Zákon o odpadech č. 541/2020 Sb.
- Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), č. 458/2000 Sb.
- Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), č. 183/2006 Sb.
- Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, č. 165/2012 Sb.

Nařízení vlády [24]:

- Nařízení vlády o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních, č. 121/2020 Sb.
- Nařízení vlády o státní energetické koncepci a o územní energetické koncepci, č. 232/2015 Sb.

Vyhlášky ministerstev [24]:

- Vyhláška Ministerstva pro místní rozvoj o dokumentaci staveb, č. 499/2006 Sb.
- Vyhláška Ministerstva vnitra o technických podmínkách požární ochrany staveb, č. 23/2008 Sb.
- Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu o měření elektřiny, č. 359/2020 Sb.
- Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu o stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie, č. 441/2012 Sb.
- Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu o energetické náročnosti budov, č. 264/2020 Sb.
- Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu o vykazování energie z podporovaných zdrojů, č. 145/2016 Sb.

Vyhlášky Energetického regulačního úřadu [24]:

- Vyhláška ERÚ o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, č. 540/2005 Sb.
- Vyhláška ERÚ o provedení ustanovení energetického zákona o Energetickém regulačním fondu a povinnosti nad rámec licence, č. 280/2007 Sb.
- Vyhláška ERÚ o obsahových náležitostech, č. 401/2010 Sb.
- Registrační vyhláška, č. 9/2016 Sb.

- Vyhláška ERÚ o způsobu regulace cen a postupech pro regulaci cen v elektroenergetice a teplárenství, č. 194/2015 Sb.
- Vyhláška ERÚ o způsobu regulace cen a postupech pro regulaci cen za činnosti operátora trhu v elektroenergetice a plynárenství, č. 196/2015 Sb.
- Vyhláška ERÚ o regulačním výkaznictví, č. 262/2015 Sb.
- Vyhláška ERÚ o technologicko-ekonomických parametrech, č. 296/2015 Sb.
- Vyhláška ERÚ o pravidlech trhu s elektřinou, č. 408/2015 Sb.
- Vyhláška ERÚ o podrobnostech udělování licencí pro podnikání v energetických odvětvích, č. 8/2016 Sb.
- Vyhláška ERÚ o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, č. 16/2016 Sb.
- Vyhláška ERÚ o vyúčtování dodávek a souvisejících služeb v energetických odvětvích, č. 70/2016 Sb.

Cenová rozhodnutí ERÚ [24]:

- Cenové rozhodnutí ERÚ 2015

2.1 Energetický zákon

Zákon číslo 458/2000 Sb., energetický zákon, upravuje podmínky podnikání, zákon státní správy a regulaci v energetice. Do začátku roku 2015 bylo na provozování energetických zdrojů připojených do elektrizační soustavy nahlíženo jako na vykonávání podnikatelských činností. S ukončením provozní podpory většiny decentralních zdrojů (fotovoltaika na střechách, větrné elektrárny, ...) k 31.12.2013 nové zdroje nevyhovovaly

základní podmínce podnikání, nevykazovaly peněžní příjem, avšak byly dále posuzovány jako výdělečné zdroje. Podléhaly nezbytnosti držet licenci pro připojení zdroje, a i když jejich majitel neměl z výroby elektřiny žádný zisk, tak byl státem sankciován. Při ztrátě zaměstnání nedostal původní majitel ani příspěvek v nezaměstnanosti. Tento problém řeší Česká fotovoltaická asociace a snaží se odstranit legislativní diskriminaci výkonově nejmenších fotovoltaických výroben. [16]

2.1.1 Výroba elektrické energie bez licence

Hlavním prvkem nového systému byla novela § 3 odst. 3 zák. č. 458/2000 Sb., která udává, že pro provoz výroby elektrické energie pro vlastní spotřebu s instalovaným výkonem do 10 kWp včetně, není potřeba licence Energetického regulačního úřadu, i přestože je taková výroba připojena k distribuční či přenosové soustavě. Zákon udává podmínku, že ve stejném odběrném místě nesmí být připojena jiná výroba provozovaná pod licenci. [16]

2.1.2 Financování podpory obnovitelných zdrojů energie

Změna financování v oblasti podpory obnovitelných zdrojů energie z platby za MWh na platbu za rezervovaný příkon umožní větším odběratelům (průmyslovým podnikům) možnost minimalizace jejich plateb na podporu obnovitelných zdrojů energie. Tím se zlepší podmínky konkurenceschopnosti se zahraniční konkurencí. Výhodou pro veškeré odběratele elektrické energie je také to, že nikdo nebude platit v novém systému více než dosud platil. Maximální platba za fakturované období je dána součinem částky 495 Kč/MWh a celkového odebíraného množství elektrické energie. [16]

2.1.3 Daňová problematika

Přetoky energie do distribuční soustavy lze zpeněžit pomocí smlouvy o výkupu elektřiny s distributorem. Novela zákona č. 586/1992 Sb. říká, že příjem z prodeje elektrické energie vyrobené elektrárnou do 10 kW při provozování v souladu se zákonem bez licence nebude příjmem z podnikání, nýbrž se bude jednat o tzv. ostatní příjem dle §10 zákona o daních z příjmu. Od daně bude osvobozen majitel elektrárny, který nemá jiný zdroj financí, až do 30000 Kč/rok. [16]

2.2 Vyhláška o zjednodušeném připojení

Dne 1. února 2016 vyšla v platnost vyhláška Energetického regulačního úřadu č. 16/2019 Sb. popisující podmínky připojení k elektrizační soustavě. Jsou zde formulovány tzv. mikrozdroje jakožto nová kategorie výroben s instalovaným výkonem maximálně do 10 kW včetně, o jmenovitém střídavém proudu do 16 A na fázi. Tato instalace musí být připojena do distribuční sítě. Podmínkou využití zjednodušeného připojení je dodržení podmínek určených jako parametrů mikrozdroje. Mikrozdroj musí obsahovat regulační zařízení zabraňující dodávce elektrické energie do distribuční soustavy v místě připojení. Existuje zde výjimka zohledňující krátké přetoky elektrické energie do distribuční soustavy kvůli reakci omezujícího zařízení, ale nezvyšující napětí v místě připojení. Při prokázání, dle výsledků revizního technika, maximální hodnoty impedance proudové smyčky v místě připojení u zdroje do 16 A na fázi $0,47 \Omega$ vzniká žadateli nárok na připojení dle § 13 vyhlášky. U zdroje do 10 A na fázi se maximální hodnota impedance zvyšuje na $0,75 \Omega$. Pro provozovatele distribuční soustavy tak vzniká povinnost k připojení majitele mikrozdroje na určené odběrné místo. Pokud je hodnota impedance rovna či vyšší než maximální stanovené hodnoty, pak pro majitele je potřeba standardní žádost o připojení za podmínek dle § 3 odst. 1. [16]

2.3 Stavební zákon

Povolování staveb vychází ze zákona č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu. Před samotnou výstavbou mohou stavby projít územním a stavebním řízením. Všechny náležitosti ohledně stavebního práva se řeší v místě s příslušným stavebním úřadem.

Územním řízením je myšlen schvalovací průběh umístění staveb na určitém pozemku v daném území. Výstupem tohoto procesu je územní rozhodnutí, územní souhlas či veřejnoprávní smlouva. V některých situacích se může jednat o zjednodušené územní řízení.

Stavební řízení schvaluje konkrétní podoby stavby, technické parametry a navrhované způsoby provedení. U některých staveb je potřeba ohlášení či stavební povolení. Některé jednodušší stavby či stavebních úpravy to nevyžadují. Stavby vyžadující stavební povolení a stavby ohlášené musí získat kolaudační souhlas od stavebního úřadu.

V neposlední řadě je také potřeba určit pod jaký zákon spadají fotovoltaické panely. To lze ustanovit z toho, zda v dané budově dochází k vlastní spotřebě vyrobené elektrické energie. Pokud ano, pak nejde o výrobu elektrické energie, ale o technické zařízení stavby podle § 3 odst. 2 stavebního zákona, které je součástí stavby. Instalace fotovoltaických panelů ve smyslu technického zařízení je pak stavební úpravou. [25]

2.3.1 Stavební povolení

V ustanovení § 104 až § 107 stavebního zákona jsou specifikovány ty stavby, u kterých stačí ohlášení. V takovém případě se ohlášení vztahuje i na stavební úpravy těchto staveb. Stavební řízení je ve stavebním zákoně § 108 odst. 1 psáno, že na vše ostatní je stavební povolení vyžadováno. Ustanovení § 103 stavebního zákona stanovuje výjimky, u kterých není zapotřebí ani ohlášení ani stavebního povolení. Pokud jsou fotovoltaické panely umístěny na střeše domu obvyklým způsobem a stavební úřad bude souhlasit s tím, že se jedná o součást stavby, pak jde o zmíněnou výjimku. Také je v tomto paragrafu uvedeno, že do výjimek spadají i „stavby a zařízení pro výrobu energie s celkovým instalovaným výkonem do 20 kW s výjimkou stavby vodního díla“. V praxi se stává, že jsou fotovoltaické panely posuzovány jako výrobní zařízení, pak je nutné nabýt stavebního povolení. [25, 26]

Stavební úpravy, které nevyžadují ohlášení ani stavební povolení musí splnit tyto podmínky [25, 26]:

- Stavební úpravou se nezasahuje do nosné konstrukce stavby
- Nemění se vzhled stavby ani jeho způsob užívání
- Není vyžadováno posouzení vlivů na životní prostředí
- Provedení stavební úpravy nemůže negativně ovlivnit požárně bezpečnostní řešení stavby

Tyto podmínky valná většina instalovaných fotovoltaických panelů splňuje, ovšem je zde výjimka instalace fotovoltaických panelů na stavby, které jsou nemovitou kulturní památkou či se nachází v zájmovém území (CHKO, krajinná památková zóna).

Umístění fotovoltaického systému na pozemku by mělo být v každém případě posuzováno územním řízením. A také zde platí dle § 103 stavebního zákona, že pro elektrárny s výkonem nepřevyšujícím 20 kWp není potřeba ohlášení ani stavebního povolení. [25]

2.4 Dotační programy

Pro fotovoltaiku existují různé formy dotačních programů. Níže jsou vypsané aktuální dotační programy zahrnující FVE.

V praxi se o dotace z Modernizačního fondu či operačních programů žádá tak, že se vyplní potřebné žádosti a poskytnou se požadované dokumenty (smlouva o připojení, studie proveditelnosti atd.). Dotační programy postupně vypisují výzvy obsahující podmínky, které je nutné splnit pro získání požadovaného počtu bodů, podle kterého jsou dále vybíráni vhodní kandidáti. Při vyrozumění o možnosti získání dotace získá žadatel unikátní registrační číslo projektu, které je následně zahrnuto ve všech dotčených dokumentech a fakturách. Celý proces získání dotace je časově náročný a po samotné výstavbě FVE a získání dotace je zapotřebí několik let vykazovat činnost a udržovat výsledky FVE, tedy nijak elektrárnu neupravovat. Tato doba se nazývá udržitelnost projektu a trvá zhruba 3 až 5 let (u Modernizačního fondu 10 let).

2.4.1 Nová zelená úsporám

Tento program je nabízen Ministerstvem životního prostředí administrovaný Státním fondem životního prostředí ČR, který se orientuje na úspory energií v bytových a rodinných domech. Žádosti je nutné vyřídit do 31.12 2021 nebo do vyčerpání alokované částky 17,2 mld. Kč. [27, 28]

2.4.1.1 Pro rodinné domy

Podpora FVE i FVE s akumulací elektrické energie. Výše dotace je pro fotovoltaické systémy dána jednorázovou fixní částkou 35 tis. – 150 tis. Kč, která se odvíjí

od typu systému. Lze získat až 50 % celkových způsobilých výdajů (uznatelných nákladů) nazpět. O tento program mohou žádat vlastníci či stavebníci rodinných domů (fyzické i právnické osoby). [27, 28]

2.4.1.2 Pro bytové jednotky

Tento program je pouze pro vlastníky bytových domů na území hlavního města Prahy. Z tohoto programu je možné získat pro FVE až 15 500 Kč na kWp. Lze získat až 40 % celkových způsobilých výdajů nazpět. [27, 28]

2.4.2 Modernizační fond

Jedná se o fond čerpající prostředky především z monetizace 2 % celkového počtu emisních povolenek v systému EU ETS v letech 2021 až 2030. Pro Českou republiku bylo vyhrazeno přibližně 150 mld. Kč reprezentující 15,6 % celkových prostředků modernizačního fondu. Tato hodnota se odvíjí od současné ceny emisních povolenek. V následujících letech půjdou tyto finance na zelené projekty s cílem podílení se na snížení emisí vyprodukovaných do ovzduší pomocí spalování uhlí v České republice. Modernizační fond zahrnuje několik programů, z nichž následující je možné využít pro výstavbu fotovoltaických systémů. Jedná se o programy HEAT, RES+ a ENERGETICS. [27, 29]

2.4.2.1 HEAT – Modernizace soustav zásobování tepelnou energií

HEAT program podporuje využívání OZE a také nízkouhlíkových zdrojů stanovených hlavně k vytápění jako změnu palivové základny a modernizace soustavy rozvodů tepelné energie. K tomuto programu podporujícímu FVE s případnou akumulací elektrické energie bylo alokováno 26 % prostředků Modernizačního fondu. HEAT je určen pro fyzické či právnické osoby s licenci na produkci tepelné energie či elektrické energie a také s licenci na rozvod tepelné energie. Aktuálně jsou vypsány výzvy pro malé projekty (alokace 1,4 mld. Kč) a velké projekty (alokace 5 mld. Kč), období příjmu žádostí 24.5.2021 – 14.1.2022, s výší podpory 45 % - 80 % způsobilých výdajů a s maximálními peněžními prostředky 15 mil. €. [27, 29]

2.4.2.2 RES+ - Nové obnovitelné zdroje v energetice

RES+ je program zahrnující podporu nepalivových OZE. Pro tento program bylo vyčleněno 38,7 % prostředků Modernizačního fondu. Tyto prostředky je možné čerpat pro instalaci nových FVE a prvků aktivního energetického hospodářství. O tento program mohou žádat stávající i budoucí držitelé licence pro podnikání v energetických odvětvích. Projektové záměry bylo možné předkládat v předregistrační výzvě do 1.2.2021. [27, 29]

2.4.2.3 ENERGETICKÉ ÚČINNOSTI A SNIŽOVÁNÍ EMISÍ SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ V PRŮMYSLU V EU ETS

ENERG ETS se soustřeďuje na podporu zařízení a opatření ke zdokonalení energetické účinnosti či pro zredukování produkce skleníkových plynů v průmyslové výrobě u zařízeních zahrnutých v EU ETS. Tomuto programu byl alokován 19,3% podíl z celkových prostředků Modernizačního fondu. [27, 29]

2.4.3 Operační program podnikání a inovace pro konkurenceschopnost (OP PIK)

Tento program je určen hlavně pro podporu investičních projektů v rámci let 2014-2020 s cílem podpory minimalizace energetické náročnosti podnikatelů. Dotaci mohly mimo jiné dostat i města, obce či subjekty státní správy. Fotovoltaika je zahrnuta v VI. výzvě programu podpory Úspory energie s plánovanou alokací 1 mld. Kč. Minimální výše podpory na projekt je 500 tis. Kč, maximální výše podpory 200 mil. Kč, přičemž malé podniky mohou získat dotaci až do výše 50 % prokázaných způsobilých výdajů, střední podniky do 40 % a velké podniky až do 30 %. Kvůli nevyčerpanosti celkové alokované části a stálému zájmu žadatelů byl příjem žádostí této výzvy prodloužen Ministerstvem průmyslu a obchodu do 30.6.2021 (do 14:00). [27, 30–32]

OP PIK pro fotovoltaiku zahrnuje i další výzvu – VI. Úspory energie s EPC s orientačním cílem ČR uspořit 14,196 TWh v konečné spotřebě energie. Tato výzva byla také prodloužena a přijímá žádosti do 30.11 2021. Výše a míra podpory je stejná jako u VI. výzvy Úspory energie. [27, 33]

OP PIK letos končí a pro podnikatele bude spuštěn nový operační program OP TAK Operační program Technologie aplikace pro konkurenceschopnost [34]. OP TAK je

momentálně v přípravě a v následujících letech (až do roku 2027) bude pro české podniky alokováno 79,3 mld. Kč. Spuštění prvních dotačních programů proběhne již letos v létě. Z předběžné informace je možné zjistit, že pro malé podniky bude míra dotace způsobilých výdajů až 45 %, pro střední 35 % a pro velké 25 %. [35–37]

2.4.4 Operační program Životní prostředí OPŽP

OPŽP čerpá finance z fondů Evropské unie. Jde o fond pro regionální rozvoj a Fond soudržnosti s vyhrazenou částkou téměř 2,506 mld. €. Pro podporu fotovoltaiky se jedná o Prioritní osu 5 – Energetické úspory o celkové alokované částce 500 mil. Kč. Ta se například snaží snížit náročnost veřejných budov a také zintenzivnit využívání OZE. Podání žádosti je možné do 31.5.2021 (152. výzva). O tento program mohou žádat veřejnoprávní korporace, organizační složky státu, státní podniky, příspěvkové organizace, veřejné výzkumné organizace a vysoké školy, církve a náboženské společnosti a nestátní neziskové organizace. Výše podpory může dosahovat až 85 % z celkových způsobilých výdajů (v rámci ochrany přírody ve výjimečných případech i 100 %). [27, 38]

V následujících letech (momentálně do roku 2027) bude skrze OPŽP pokračovat podpora projektů, na které bude poskytnuta podpora přibližně 2,3 mld. €, tj. cca 60 mil. Kč. Podpora se bude týkat veřejného sektoru, podnikatelů i domácností. [38]

2.4.5 Operační program Praha – pól růstu ČR

Jedná se o program, který je určen pouze pro Prahu s hlavním cílem zajištění plnění tematických cílů. K tomu je nezbytné obstarání efektivní realizace investic vedoucí k zvýšení konkurenceschopnosti Prahy jako rozvojového pólu republiky a k zabezpečení kvalitního života obyvatel. Na tento program je celkově alokováno 0,2 mld. €, tj. cca 5,35 mld. Kč. Na podporu energeticky efektivních zařízení využívající OZE je z celkové alokované částky vyhrazeno 280 mil. Kč. S minimální výší dotace 1 mil. Kč a maximální výší dotace 280 mil. Kč. O tento program může žádat hlavní město Praha či dopravní podnik hl. m. Prahy, a.s. Žádosti je možné vyřizovat do 28.1.2022. [27, 39]

2.4.6 Bezúročný úvěr na energeticky úsporné projekty

Kromě podpory ve formě běžných dotací je také možnost získání finanční podpory na FVE prostřednictvím bezúročného úvěru od Českomoravské záruční a rozvojové banky.

Nabízen je pro projekty realizované v ČR mimo Prahu s tím, že projekty musí být spolufinancovány komerčním úvěrem smluvního partnera ČMZRB. Bezúroční úvěr je financován z Evropských strukturálních a investičních fondů OP PIK. Výše nabízeného úvěru 500 tis. až 60 mil. Kč, která může hradit až 90 % způsobilých výdajů, s dobou splatnosti až 10 let. Tato forma podpory je určena pro malé, střední i velké podnikatele, jenž se chystají realizovat prostředky ke snížení konečné spotřeby energie. [40]

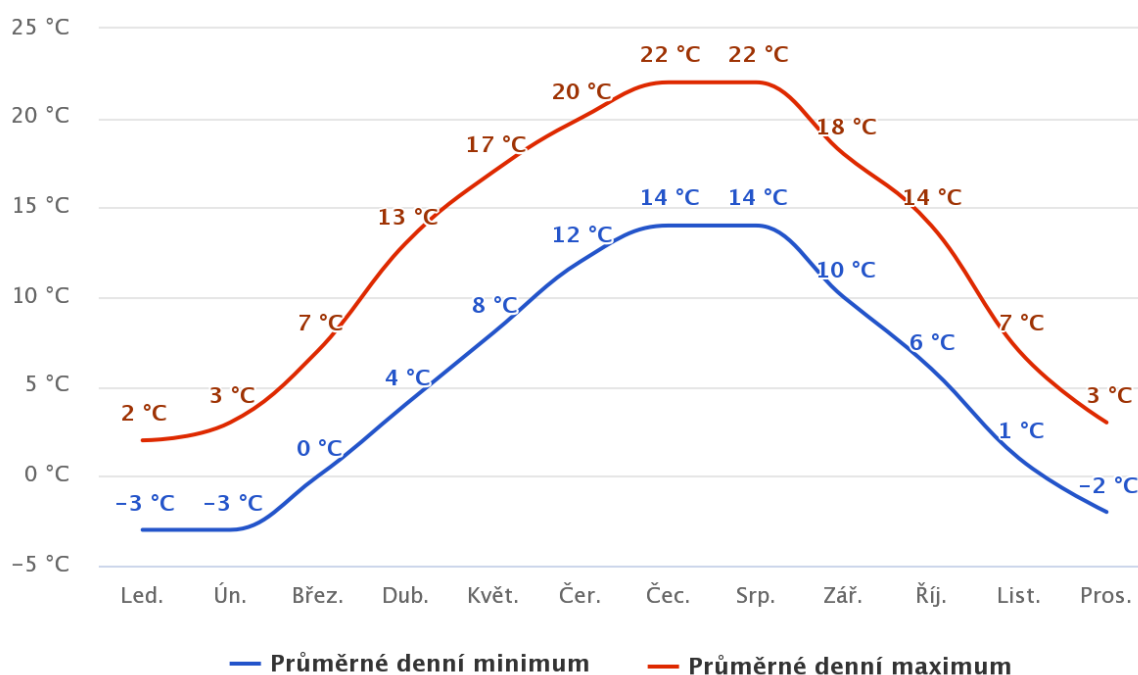
3 Návrh FVE o výkonu 200 kW

K realizaci návrhu fotovoltaické elektrárny o výkonu 200 kW bylo v první řadě potřeba vybrat vhodné umístění. Z několika různých kandidátů byla nakonec vybrána střecha firemní budovy v Prachaticích. Jedná se o firmu M-TECHNIKA s.r.o.

3.1 Poloha FVE a klimatické podmínky

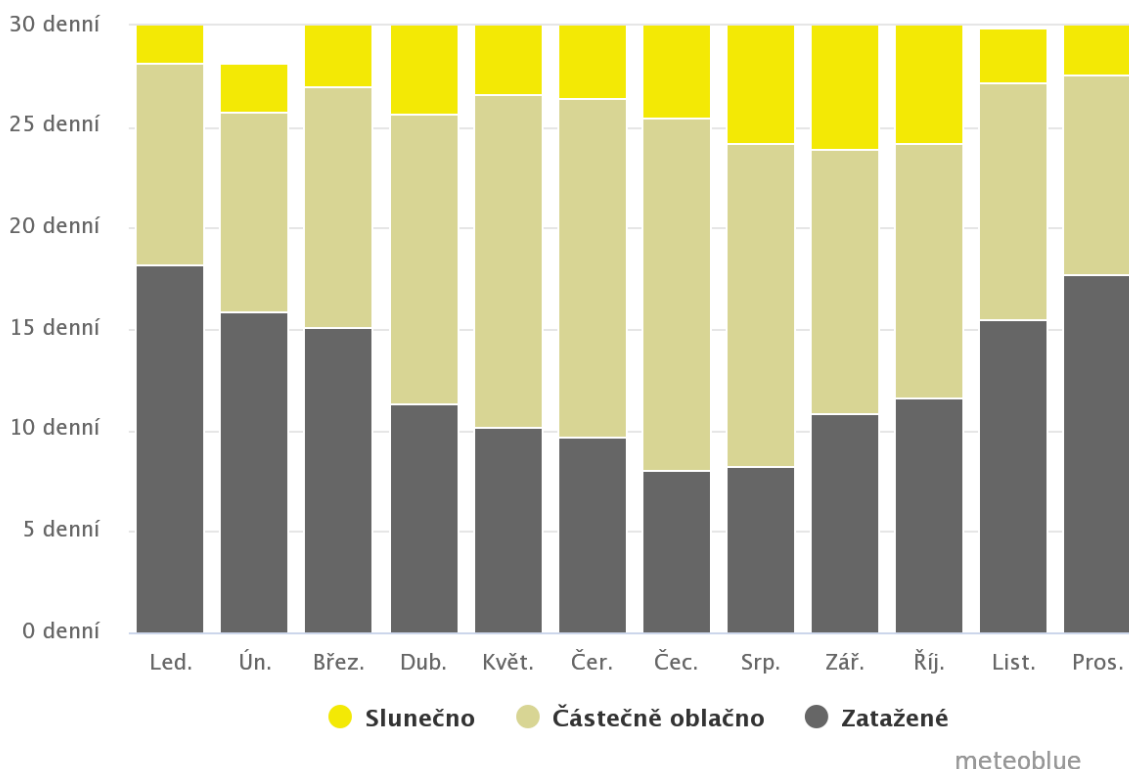
Vybraná budova se nachází v Prachaticích v Jihočeském kraji o GPS souřadnicích 48°59'60.0"N 14°00'37.0"E.

Skrze webový portál meteoblue byla zjištěna maximální a minimální průměrná teplota v jednotlivých měsících v dané lokalitě. Dále se z tohoto portálu získal graf (Obr. 7) zobrazující v jednotlivých měsících průměrný počet slunečných dnů.



meteoblue

Obr. 6: Průměrné teploty v jednotlivých měsících (převzato z [41])

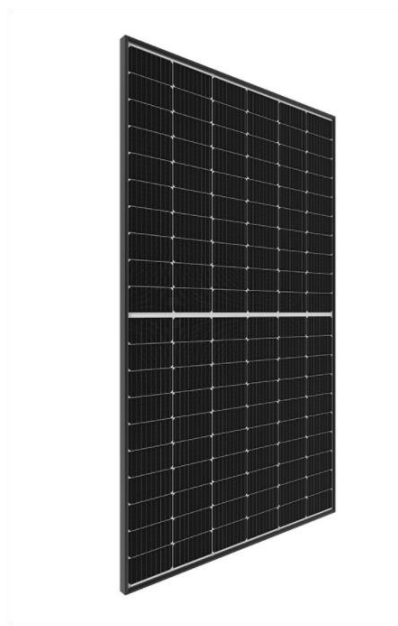


Obr. 7: Graf denních slunečních podmínek v jednotlivých měsících (převzato z [41])

3.2 Fotovoltaické panely

Po výběru vhodného místa bylo zapotřebí prozkoumat aktuální trh a vybrat kvalitní a cenově dostupné fotovoltaické panely. Z průzkumu trhu byly vybrány fotovoltaické panely LONGI 365Wp MONO s černým rámem.

Vybrané fotovoltaické panely LONGi 365Wp MONO (LR4-60HPH-365M) z krystalického křemíku vyrábí společnost LONGi Solar. Jedná se o předního čínského světového výrobce v oblasti vysoce účinných monokrystalických solárních panelů.



Obr. 8: Ilustrace vybraných fotovoltaických panelů LR4-60HPH-365M (převzato z [42])

3.2.1 Parametry použitých panelů

Základní rozměry panelů činí 1776x1052x35 mm s hmotností 20 kg. Jeden fotovoltaický panel se skládá z celkem 120 fotovoltaických článků. Spojovací box se stupněm krytí IP68 obsahuje tři diody. Použité tvrzené antireflexní sklo je 3,2 mm tlusté. Rám je tvořen z eloxovaného hliníku.

Použité panely mají 12letou záruku na materiál a zpracování a mimo jiné také záruku 25 let na lineární pokles výkonu. Jedná se tedy o panely s velmi pomalou degradací výkonu, kdy první rok je degradace nižší než 2 % a v následujících 24 letech je garantována nízká výkonová degradace o 0,55 % za rok.

Z hlediska provozních podmínek jsou použité panely konstruovány na provozní teplotu v mezích od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tolerance výstupního výkonu je pozitivní v mezích od 0 až k $+5\text{ W}$. Tolerance napětí naprázdno U_{OC} a proudu nakrátko I_{SC} od $-3\text{ }\%$ do $+3\text{ }\%$. Maximální provozní napětí DC 1500 V. Maximální jmenovitá hodnota jistícího prvku 20 A. Jmenovitá provozní teplota článku $45\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bezpečnostní třída II. Tabulka (Tab. 3) obsahuje elektrické parametry daných 365W panelů. Pomocí optimalizace elektrického designu bylo sníženo riziko hot-spotů a dosáhlo se nižších provozních proudů.

Tab. 3: Elektrické parametry panelů LONGI 365Wp MONO [43]

Testovací podmínky	STC	NOTC
Maximální výkon P_{MPP} [W]	365	272,6
Napětí naprázdno U_{OC} [V]	40,7	38,2
Proud nakrátko I_{SC} [A]	11,43	9,25
Napětí maximálního výkonu U_{MPP} [V]	34,2	31,8
Proud maximálního výkonu I_{MPP} [A]	10,68	8,56
Účinnost [%]	20	20

Standardní testovací podmínky STC jsou dány intenzitou záření 1000 W/m^2 při teplotě článku $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Jmenovitá provozní teplota článku NOCT vychází z intenzity záření 800 W/m^2 při okolní teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a rychlosti větru 1 m/s .

Tab. 4: Teplotní hodnocení panelů při STC [43]

Teplotní koeficient I_{SC} [%/ $^\circ\text{C}$]	+0,048
Teplotní koeficient U_{OC} (β) [%/ $^\circ\text{C}$]	-0,270
Teplotní koeficient P_{MPP} [%/ $^\circ\text{C}$]	-0,350

Tab. 5: Mechanická zátěž panelů [43]

Statické zatížení přední strany [Pa]	5400
Statické zatížení zadní strany [Pa]	2400

Použité panely jsou taktéž testovány proti krupobití. Test byl proveden kroupy o velikosti 25 mm při rychlosti 23 m/s .

3.3 Výkonové optimizéry

Výkonové optimizéry jsou DC/DC měniče s MTTP, tj. se schopností sledovat bod maximálního výkonu fotovoltaického panelu. Fotovoltaické panely z výroby, z odlišných okolních podmínek, lokálního zastínění či nerovnoměrného poškození vykazují výkonový nesoulad. Z důvodu výkonového nesouladu dochází ke ztrátám energie v celém systému. Fotovoltaické panely se zapojují sériově do řad a ty jsou poté paralelně spojeny se střídači. Panel s menším výkonem generuje menší množství energie než další panely spojené v sérii a tím negativně ovlivňuje jejich výkon. Tímto problémem může být ztraceno až 10% celkové energie. Proto je vhodné využít výkonové optimizéry umožňující každému panelu výrobu maxima energie. Výkonově slabší panel nebude ovlivňovat zbylý systém. [8, 44]

3.3.1 Výběr výkonového optimizéru

K výběru vyhovujícího výkonového optimizéru je zapotřebí znát maximální napětí, které se může na fotovoltaických modulech vyskytnout při nejnižších teplotách. Toto napětí se odvozuje v případě zimy při teplotě -10 °C v mírném klimatickém pásu [16]. Oproti STC (25 °C) je výsledný rozdíl -35 °C . Pokud tento rozdíl vynásobíme teplotním koeficientem β určeným v teplotním hodnocení použitých panelů viz tabulka (Tab. 4), potom dostaneme procentuální nárůst napětí naprázdno. Nejvyšší napětí, které se může v modulech při provozním stavu vyskytnout je napětí naprázdno právě při nízkých teplotách. Je nezbytné, aby toto napětí bylo v dovozených mezích provozních napětích výkonového optimizéru a zároveň nižší než maximální povolené stejnosměrné vstupní napětí střídače, jinak by hrozilo poškození střídače

Napětí naprázdno modulu při -10 °C nemáme v technickém listě uvedeno, proto ho vypočítáme dle zmíněné rovnice [16]:

$$U_{OC (Modul -10\text{ °C})} = U_{OC (STC)} \left[1 + (t_{min} - t_{STC}) \cdot \frac{\beta_{OC}}{100} \right] \quad (2)$$

$$U_{OC (Modul -10\text{ °C})} = 40,7 \cdot \left[1 + (-10 - 25) \cdot \left(\frac{-0,270}{100} \right) \right] = 44,55V \quad (3)$$

Z toho plyne, že výkonový optimizér musí mít provozní napětí alespoň do $44,55\text{ V}$. K návrhu byl vybrán výkonový optimizér P801 od společnosti SolarEdge s parametry viz tabulka (Tab. 6). Tento prvek podporuje zapojení 2 fotovoltaických panelů až se 144 články. Abychom získali kompletní informace o kompatibilitě vybraného výkonového optimizéru s fotovoltaickými moduly, tak je třeba manuálních výpočtů, doporučením v technickém listě či ověření certifikovaným softwarem.

Tab. 6: Parametry výkonového optimizéru P801 [45]

P_{DC} [W]	800
U_{OC} [V]	125
MPPT [V]	12,5 - 105
I_{SC} na 1 vstup [A]	12,5
μ_{max} [%]	99,50
$U_{out(max)}$ [V]	80
$I_{out(max)}$ [A]	15
Maximální systémové napětí [V]	1000
Provozní teplota [°C]	-45 až 85

3.3.2 Připojení výkonových optimizérů

Připojení lze realizovat buď paralelním nebo sériovým zapojením. Důležité je při připojování dvou panelů nepřekročit povolené hodnoty U_{OC} a I_{SC} vybraného výkonového optimizéru [46]. Z tabulky elektrických parametrů vybraných modelů (Tab. 3) známe proud nakrátko $I_{SC} = 11,43$ A. Další potřebná hodnota je napětí naprázdno modulu při -10 °C, která nám vyšla $U_{OC(Modul -10\text{ °C})} = 44,55$ V. Ze zapojení dvou stejných modulů k jednomu výkonovému optimizéru se výpočtem zjistili hodnoty pro oba typy zapojení. K paralelnímu zapojení se využívají například Y-adaptéry.

Tab. 7: Vypočtené hodnoty

Zapojení	Sériové	Paralelní
P_{max} [W]	730	730
U_{OC-10} [V]	90,44	45,22
I_{SC} [A]	11,43	22,86

Abychom nepřekročili povolený proud nakrátko I_{SC} , tak podle tabulky (Tab. 7) musíme zvolit zapojení do série. Fotovoltaické moduly se po dvojicích sériově zapojí k jednotlivým výkonovým optimizérům. Celkem bude potřeba 323 kusů výkonových optimizérů.

3.4 Dimenzování střídače

Pro zvolení správného střídače vycházíme z dat fotovoltaických panelů. Tato data pochází z technického listu a nachází se v tabulce elektrických parametrů (Tab. 3) a v tabulce teplotních koeficientů (Tab. 4).

3.4.1 Výkonový faktor

Pokud je zdánlivý výkon FV systému větší než 4,6 kVA, musí být napájení vícefázové. To lze realizovat prostřednictvím několika jednofázových střídačů, rovnoměrně rozdělených na tři fáze nebo třífázovými střídači. Hlavní ukazatel návrhu je stanoven jako výkonový poměr 1:1 mezi fotovoltaickým systémem a střídačem, nicméně jmenovitý výkon střídačů se může nacházet v mezích $\pm 20\%$ výkonu fotovoltaického systému při STC viz rovnice (4), kdy záleží na technologii panelů, střídačů a na okolních podmínkách v místě elektrárny [16].

$$0,8 \cdot P_{PV} < P_{WRAC} < 1,2 \cdot P_{PV} \quad (4)$$

P_{PV} – celkový výkon fotovoltaické elektrárny, v našem případě 235,79 kW

P_{WRAC} – jmenovitý výkon střídače

$$188,63 \text{ kW} < P_{WRAC} < 282,95 \quad (5)$$

Z rovnice (5) vyplývá, že jmenovitý výkon střídačů je vhodné volit mezi hodnoty 188,63 kW a 282,95 kW.

3.4.2 Volba střídače

Z napěťového dimenzování střídače jsme usoudili, že je potřeba střídačů s celkovým výkonem mezi 188,63 kW a 223,95 kW.

Pomocí softwaru PVsyst byl vybrán třífázový invertor SE33.3K od společnosti SolarEdge viz. obrázek (Obr. 9). Tento střídač disponuje 98,5% účinností a je kompatibilní se zvolenými výkonovými optimizéry. Počítačový program doporučil 6 kusů těchto invertorů s celkovým jmenovitým výkonem 199,8 kW. Tento jmenovitý výkon je v normě podle rovnice (5). Střídače mohou být umístěné na střeše objektu, protože mají certifikaci stupně krytí IP65, avšak vhodné je umístění do technické místnosti.



Obr. 9: Střídač SolarEdge SE33.3K (převzato z [47])

3.4.3 Minimální počet modulů v jednom stringu n_{\min}

Vychází z maximálních teplot, které se mohou na modulech objevit. V průběhu léta se teploty na modulech mohou vyšplhat až na teploty kolem 70 °C. To je rozdíl 45 °C oproti STC. Při těchto teplotách klesá napětí pod stanovené hodnoty při STC. Pokud by se hodnota provozního napětí systému dostala pod hodnotu minimálního MPP napětí střídače, pak by střídač přestal dodávat do sítě maximální možný výkon nebo by se odpojil.

$$n_{min} = \frac{U_{MPP(WRMIN)}}{U_{MPP(Modul\ 70\ ^\circ C)}} \quad (6)$$

Výrobci v technických listech většinou neudávají MPP napětí modulu při 70 °C. V našem případě je uveden teplotní koeficient pro napětí naprázdno $\beta_{OC} = -0,27\ \% / ^\circ C$, pomocí kterého lze přepočítat MPP koeficient teploty β_{MPP} pomocí následující tabulky [16]:

Tab. 8: Přepočet koeficientů (převzato z [16])

Typ panelu	$\beta_{MPP} [\% / ^\circ C]$
multikrystalický	$\beta_{OC} - 0,11$
monokrystalický	$\beta_{OC} - 0,10$
monokrystalický SunPower při 50 °C	$\beta_{OC} + 0,07$
amorfní	$\beta_{OC} - 0,02$
CIS při 50 °C	$\beta_{OC} - 0,05$
CdTe při 45 °C	$\beta_{OC} + 0,03$
CdTe při 60 °C	$\beta_{OC} - 0,01$

V našem návrhu počítáme s monokrystalickými panely, proto tedy:

$$\beta_{MPP} = \beta_{OC} - 0,10 = -0,27 - 0,10 = -0,370 \frac{\%}{^\circ C} \quad (7)$$

z β_{MPP} lze pomocí následující rovnice vypočítat napětí modulu při 70 °C [16, 48]:

$$U_{MPP (Modul\ 70\ ^\circ C)} = U_{MPP (STC)} \cdot \left[1 + (t_{max} - t_{STC}) \cdot \left(\frac{\beta_{MPP}}{100} \right) \right] \quad (8)$$

$$U_{MPP (Modul\ 70\ ^\circ C)} = 34,2 \cdot \left[1 + (70 - 25) \cdot \left(\frac{-0,370}{100} \right) \right] = 28,51\ V \quad (9)$$

z toho a dle technického listu střídače [49]:

$$n_{min} = \frac{750}{28,51} = 26,31 \cong 27 \quad (10)$$

Tato hodnota se vždy zaokrouhluje nahoru. Minimální počet modulů zapojených v jednom stringu vychází 27.

3.4.4 Maximální počet modulů v jednom stringu n_{max}

Pro určení maximálního počtu modulů v jednom stringu se vychází z nejvyššího napětí modulu naprázdno při teplotě -10 °C tedy $U_{OC} (\text{Modul } -10\text{ °C}) = 44,55\text{ V}$. Z parametrů výkonového optimizéru P801 nalezených v technickém listě [45] získáme maximální jmenovitý výkon na jeden string, který má pro síť 230/400 V hodnotu 13500 W. Z následující rovnice získáme maximální počet modulů, které mohou být zapojeny v jednom stringu [50]:

$$n_{max} = \frac{\text{Max. výkon na jeden string}}{\text{Max výkon modulu}} = \frac{13500}{365} \cong 37 \quad (11)$$

Maximální počet modulů zapojených v jednom stringu vychází v tomto návrhu 37, popřípadě 19 výkonových optimizérů. Nicméně v technickém listě je pro zvolený střídač a výkonový optimizér uvedeno, že maximální počet modulů v jednom stringu může být pro síť 230/400 až 60.

V návrhu počítáme s 646 moduly připojenými k 323 výkonovým optimizérům, ty je potřeba rozdělit na stringy. Při využití 19 stringů vychází na každý string 17 sériově zapojených výkonových optimizérů. Ještě je nezbytné ověřit, zda celkový výkon všech modulů ve stringu nepřesáhne maximální jmenovitý výkon jednoho stringu. To lze určit z rovnice (13), ve které platí, že $P_{max/str}$ je maximální jmenovitý výkon na jeden string a n_{po} je počet výkonových optimizérů.

$$P_{max/str} \geq (n_{po} \cdot 2) \cdot P_{MPP} \quad (13)$$

$$13500 \geq (17 \cdot 2) \cdot 365 \quad (12)$$

$$13500 \geq 12410 \quad (13)$$

3.5 Projektování v softwaru

K projektování jsem využil zkušební verzi softwaru PVsyst 7.1. Celé projektování začalo tak, že se nejprve vybrala vhodná lokace elektrárny, například dle GPS souřadnic. V této lokaci jsem vybral nejbližší meteostanici, která definovala veškerá data ohledně počasí.

V dalším kroku jsem potřeboval určit typ roviny fotovoltaických panelů. Pro návrh jsem využil zafixované fotovoltaické panely s nakloněnou rovinou o sklonu 15° vůči zemi. Orientaci fotovoltaických panelů jsem nastavil na jih. V této aplikaci se pro severní polokouli, kam spadá Evropa, nastavuje při jižní orientaci fotovoltaických panelů azimut 0° .

Dále jsem stanovil plánovanou hodnotu instalovaného výkonu 241,6 kWp. Tuhle hodnotu jsem určil z optimálního pokrytí střechy fotovoltaickými panely pomocí webové aplikace HelioScope, ve které jsem fotovoltaický systém namodeloval. Tato hodnota se v softwaru dále optimalizovala na hodnotu 235,79 kWp. Předpokládám, že se tak stalo z důvodu nevyužití všech fotovoltaických panelů. Také zde bylo možné vycházet z dostupné střešní plochy. Následovala selekce samotných fotovoltaických panelů, výkonových optimizérů a invertorů. Při nekompatibilitě či předimenzování jednotlivých součástí se v dolní kolonce objevilo upozornění nebo chyba. Po zadání těchto prvků se projekt optimalizoval na následující parametry:

- jmenovitý výkon 235,79 kWp (software zaokrouhlil na 236 kWp)
- 646 fotovoltaických panelů
- 323 výkonových optimizérů
- 6 invertorů
- výstupní výkon 200 kW_{AC}
- využitá střešní plocha fotovoltaickými moduly 1177 m²

Sub-array

Sub-array name and Orientation
 Name: PV Array
 Orient: Fixed Tilted Plane Tilt: 15° Azimuth: 0°

Pre-sizing Help
 No sizing Enter planned power: 241.6 kWp
 ... or available area(modules): 1206 m²

Select the PV module
 Available Now: [v] Filter: All PV modules Approx. needed modules: 662
 Longi Solar: 365 Wp 29V Si-mono LR4-60 HPH 365 M G2 Since 2020 Manufacturer 2020 [Open]
 Use optimizer: SolarEdge P801 Worldwide 800 W Since 2020 [Open]
 Sizing voltages: Vmpp (70°C) 28.1 V Voc (-10°C) 44.8 V

Select the inverter
 Available Now: [v] Output voltage 400 V Tri 50Hz
 SolarEdge: 33.3 kW Fixed 750 V TL 50/60 Hz SE33.3K (400V) Since 2020 [Open]
 Nb. concerned inv.: 6 Operating voltage: 750 V Inverter power used: 200 kWac
 Input maximum voltage: 1000 V SolarEdge Architecture

Array Design for SolarEdge architecture
 Optimizer input Inverter input Reference for sizing
 Nb. modules in series: 2 (max 2) Max. power: 683 W / optimizer (acc. to best clear sky conditions)
 Nb. modules in parallel: 1 (max 1) Plane irradiance: 1000 W/m² Max. in data STC
 => PV power per Optimizer: 730 Wp STC Max. operating power (at 1000 W/m² and 50°C): 216 kW
 => Isc current per Optimizer: 11 A STC Array nom. Power (STC): 236 kWp
 => Vmp voltage per Optimizer: 69 Vopen

List of subarrays

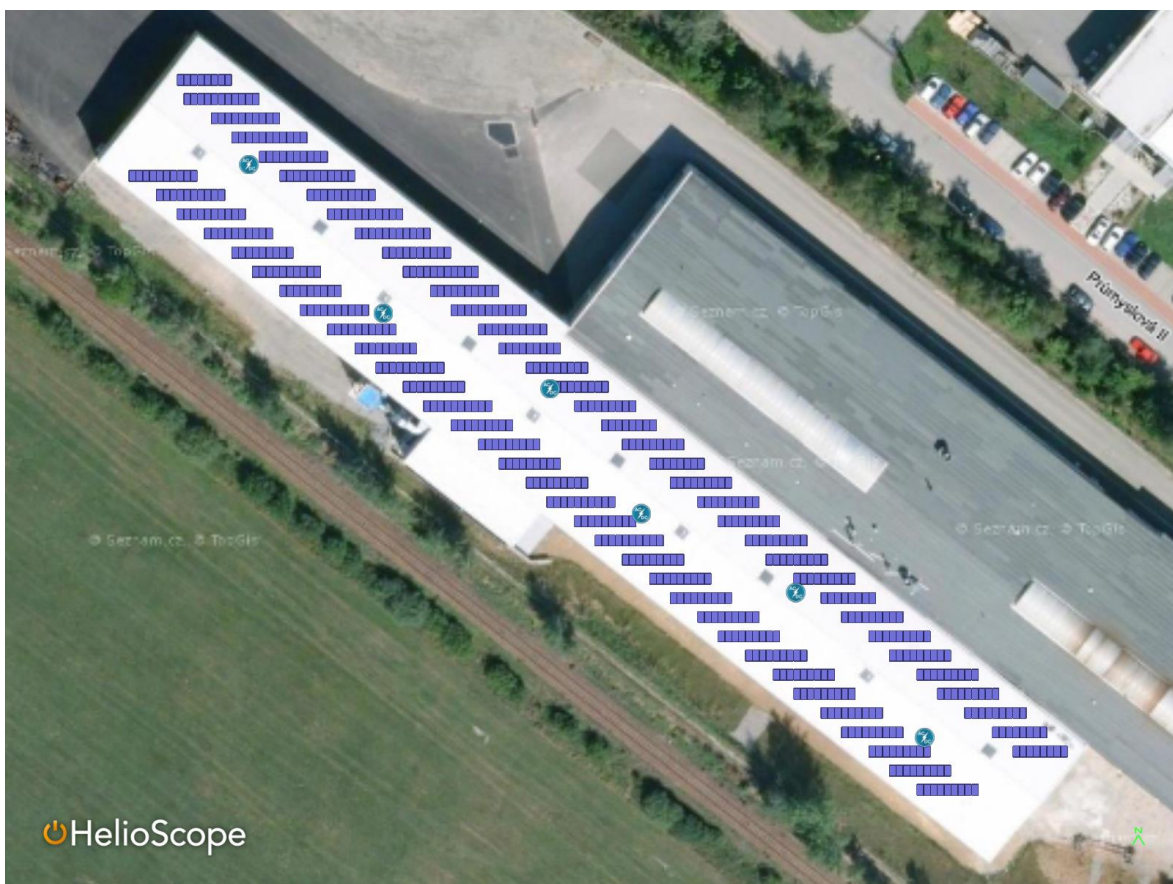
Name	#Mod #Inv.	#String #MPPT
PV Array		
Longi Solar - LR4-60 HPH 365 ...	38	17
SolarEdge - SE33.3K (400V)	6	1

Global system summary

Nb. of modules	646
Module area	1177 m²
Nb. of inverters	6
Nominal PV Power	236 kWp
Maximum PV Power	222 kWDC
Nominal AC Power	200 kWAC
Prom ratio	1.180

System overview Simplified sketch Cancel OK

Obr. 10: Definování fotovoltaického systému



Obr. 11: Rozložení jednotlivých fotovoltaických panelů na střeše budovy (235,79 kW)

Poté bylo pro každý inverter potřeba nadefinovat počet stringů a pro každý string počet zapojených výkonových optimizérů. Na jeden výkonový optimizér připadaly 2 sériově

zapojené fotovoltaické moduly. Do každého z inverterů čísla 1 až 5 jsem vybral vstup 3 stringů, přičemž se počítalo s 19 sériově propojenými výkonovými optimizéry na 1 string (*Obr. 12*). Na inverter č. 6 zbyly 2 stejně definované stringy. Celkový počet stringů byl 17 při sériovém zapojení 19 výkonových optimizérů do jednoho stringu (*Obr. 13*).

		String#1	String#2	String#3	PNom PV	Pnom ratio	
Inverter #1	SE33.3K (400V)	PV Array	PV Array	PV Array	38.95 kW	1.17	✘
Inverter #2	SE33.3K (400V)	PV Array	PV Array	PV Array	38.95 kW	1.17	✘
Inverter #3	SE33.3K (400V)	PV Array	PV Array	PV Array	38.95 kW	1.17	✘
Inverter #4	SE33.3K (400V)	PV Array	PV Array	PV Array	38.95 kW	1.17	✘
Inverter #5	SE33.3K (400V)	PV Array	PV Array	PV Array	38.95 kW	1.17	✘
Inverter #6	SE33.3K (400V)	PV Array	PV Array		25.97 kW	0.78	✘

Obr. 12: Připojení jednotlivých stringů k inverterům

Optimizer input **Inverter input** ?

Nb. optimizers in series: 19 (14 to 19)

=> 1 string = 38 modules, Pnom = 12983 Wp
i.e. Part of the inverter capacity: 31 %

Nb. strings in parall.: 17 (Planned 17)

Pnom ratio: 1.10 Overload loss: 0.1 %

nb. modules: 646 Area: 1177 m²

Obr. 13: Softwarové doplnění počtů optimizérů a stringů

3.6 Instalace FVE

Instalace fotovoltaické elektrárny se provede na ploché střeše objektu s 5° sklonem, kde bude instalováno všech 646 kusů monokrystalických fotovoltaických panelů o celkovém výkonu 236,79 kWp. Pro uložení fotovoltaických panelů bude využita certifikovaná konstrukce s náklonem 15 ° vůči zemi. Tato konstrukce bude umístěna a zatěžkána na střešním plášti. Fotovoltaické panely budou orientovány na jih (azimut 180 °).

Znázornění návrhu umístění jednotlivých střešních panelů, k vidění na obrázku (*Obr. 11*), je zpracováno pomocí profesionální webové aplikace HelioScope.

3.7 Časový plán projektu

Nedílnou součástí výstavby elektrárny je také časový plán projektu. V následující tabulce (*Tab. 9*) je nastíněno, kolik dnů by zhruba bylo potřeba k plné realizaci elektrárny.

Jednotlivé úkony a jejich časová náročnost byla získána z konzultací s konzultantem firmy E.ON Energie, a.s. Data jsou čistě orientační.

Tab. 9: Časový plán

Pořadí úkonu	Název úkonu	Časová náročnost jednotlivého úkonu [den]	Celková časová náročnost [den]
1.	Kontakt se zákazníkem	10	10
2.	Specifikace FVE	5	15
3.	Indikativní nabídka	0,5	15,5
4.	Akceptace indikativní nabídky	3	18,5
5.	Příprava smlouvy	1	19,5
6.	Vzájemné odsouhlasení smlouvy	15	34,5
7.	Podepsání smlouvy	0,5	35
8.	Kreslení projektové dokumentace pro stavební povolení	90	
9.	Žádost o povolení stavebního úřadu	30	
10.	Vyjádření dotčených orgánů	30	125
11.	Nabytí právní moci stavebního povolení	1	126
12.	Doprava materiálu	3	
13.	Předání pracoviště	0,5	
14.	Stavba elektrárny	45	171
15.	Převzetí díla	0,5	171,5
16.	Proškolení zákazníka	0,5	172
17.	Revize	0,5	172,5
18.	Žádost distributora o první paralelní připojení	30	
19.	Žádost ERÚ pro získání licence pro výrobu el. energie	30	
20.	Kolaudace stavby	1	
21.	Smlouva o výkupu přebytků	0,5	
22.	Registrace na OTE	0,5	202,5
23.	Výkaz na OTE	0,5	203

Z celkového součtu jednotlivých úkonů z tabulky (Tab. 9) je předběžná časová náročnost celého projektu predikována na 203 dní. V této tabulce jsou v postupném pořadí vypsány jednotlivé úkony, které trvají různý čas a také je zde shrnut celkový čas od počátku realizace projektu. Stavební úřad má ze zákona stanovenou 30denní lhůtu na vyřízení žádostí, nicméně tato doba ne vždy odpovídá realitě. Úkony, které běží souběžně s předchozí nejdelší úlohou nemají stanovenou celkovou (aktuální) časovou náročnost.

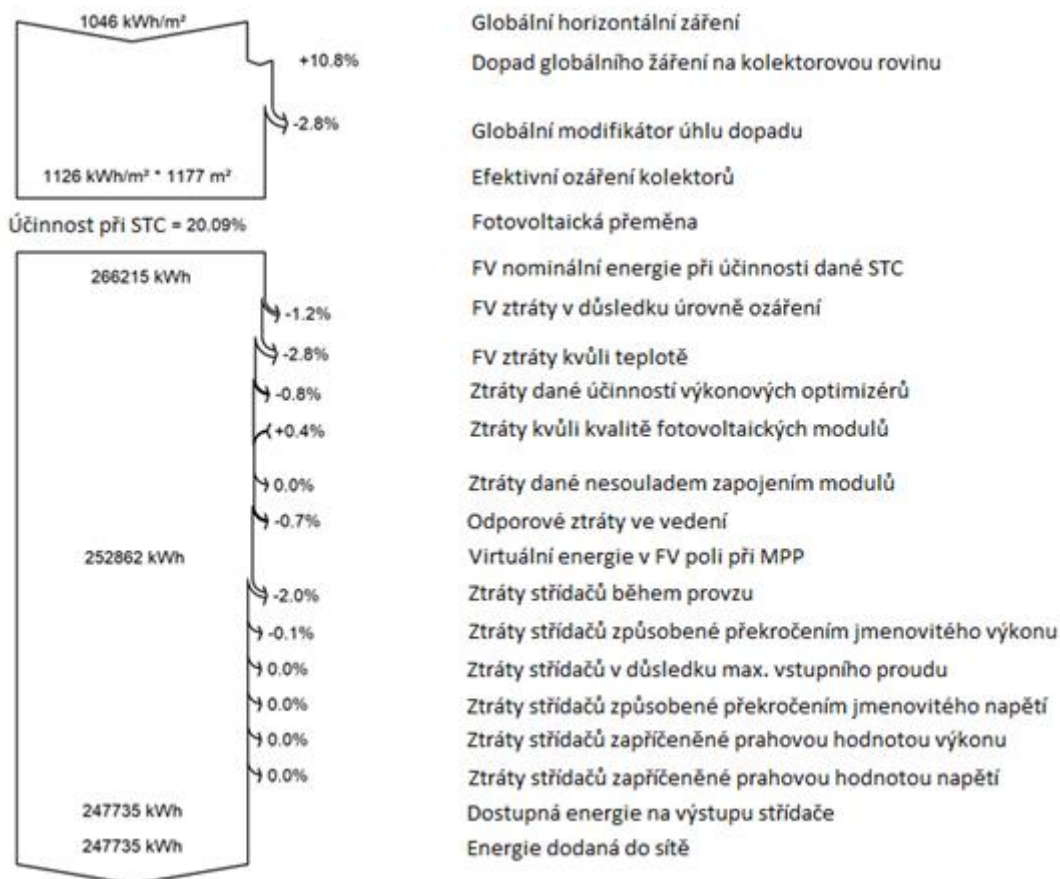
4 Zhodnocení

V následující části jsou zpracovány energetické, ekonomické a ekologické výsledky navržené FVE.

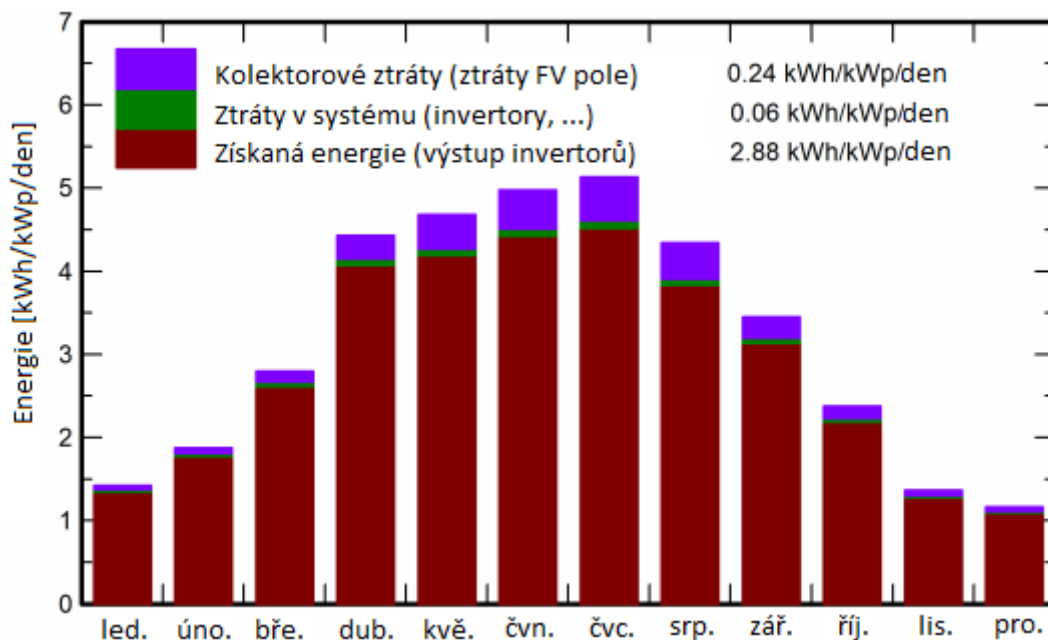
4.1 Energetické zhodnocení fotovoltaické elektrárny

Navržený fotovoltaický systém složený z 646 fotovoltaických panelů, 323 výkonových optimizérů a 6 invertorů s celkovým instalovaným výkonem 235,79 kWp a výstupním výkonem 199,8 kW_{AC} je dle dostupných dat vygenerovaných pomocí softwaru PVsyst schopen produkovat 247,7 MWh energie za rok. Tato hodnota vyplývá z ročního ztrátového diagramu, ve kterém jsou zohledněny ztráty navržené elektrárny.

Ze ztrátového diagramu (*Obr. 14*) je patrné, že nejvyšší ztráty v systému jsou způsobeny 20,09% účinností fotovoltaických panelů, modifikátorem úhlu dopadu a také 98% účinností střídače. Modifikátor úhlu dopadu odpovídá snížení ozáření, které skutečně dopadne na povrch fotovoltaických článků. Tento pokles způsobují hlavně odrazy na skleněném krytu fotovoltaického panelu, které se zvyšují s úhlem dopadu.



Obr. 14: Roční ztrátový diagram fotovoltaického systému vygenerovaný softwarem



Obr. 15: Produkce elektrické energie za každý nainstalovaný kWp

Graf (Obr. 15) zobrazuje v závislosti na jednotlivých měsících předpokládanou denní produkci elektrické energie za každý nainstalovaný kWp (celkem 235,79 kWp). Graf

vyplývá se statistických dat počasí z předchozích let. V tomto grafu jsou zohledněny ztráty celého pole fotovoltaických panelů, taktéž ztráty střídačů a výkonových optimizérů. Následující tabulka (Tab. 10) vykazuje klíčové výsledné hodnoty navrženého fotovoltaického systému. Zde je možné vyčíst výstupní energii vygenerovanou elektrárnou v jednotlivých měsících a taktéž za celý rok, tj. 247,74 MWh.

Tab. 10: Výsledné hodnoty fotovoltaického systému

	Globální horizontální ozáření [kWh/m ²]	Horizontální difúzní ozáření [kWh/m ²]	Okolní teplota [°C]	GlobInc [kWh/m ²]	GlobEff [kWh/m ²]	Efektivní energie FV pole [MWh]	Výstupní energie [MWh]	Poměr výkonu [-]
Leden	29,0	11,94	-2,03	44,1	42,2	10,07	9,86	0,949
Únor	40,6	19,82	-0,21	52,4	50,9	11,98	11,73	0,949
Březen	75,2	40,07	2,98	86,7	84,3	19,51	19,13	0,936
Duben	121,6	60,77	8,55	133,0	129,6	29,37	28,80	0,919
Květen	140,5	76,43	13,51	145,0	141,3	31,24	30,63	0,896
Červen	147,2	79,15	16,26	149,3	145,5	31,92	31,29	0,889
Červenec	155,4	78,57	17,82	159,1	155,2	33,69	33,04	0,880
Srpen	127,9	66,21	17,58	134,7	131,2	28,58	28,02	0,882
Září	92,5	54,64	12,74	103,5	100,6	22,63	22,19	0,909
Říjen	60,5	32,45	8,47	73,6	71,6	16,34	16,01	0,922
Listopad	30,9	19,18	3,20	41,0	39,3	9,23	9,04	0,936
Prosinec	24,5	14,49	-0,93	36,0	34,3	8,17	8,00	0,941
Rok	1045,8	553,72	8,21	1158,4	1126,0	252,73	247,74	0,907

GlobEff – efektivní globální hodnota po veškerých optických ztrátách (stínění, znečišťování, modifikátor úhlu dopadu)

GlobInc – dopad globálního záření na kolektorovou rovinu (aktivní plocha fotovoltaických panelů)

4.2 Ekonomické zhodnocení fotovoltaické elektrárny

Cenové hodnoty použité v následující tabulce (Tab. 11) jsou získány z konzultací a jsou čistě orientační. Navržená elektrárna bude mít u různých firem odlišnou cenu. Počítá se s cenou bez DPH. Výsledná cena elektrárny je přibližně 5 150 000 Kč bez DPH.

Tab. 11: Finanční plán

	Cena celkem bez DPH
Předrealizační fáze	250 000,00 Kč
Vypracování žádosti o připojení	
Vypracování projektové dokumentace pro stavební povolení a distribuci	
Vyřízení stavebního povolení a vyjádření dotčených orgánů	
Vyřízení prvního paralelního připojení	
Vyřízení žádosti o licenci	
Příprava realizace	
Dodávka a montáž systému FVE	4 500 000,00 Kč
FV panely: LONGI 365Wp MONO (646 ks)	
Střídač: SolarEdge SE33.3K (6 ks)	
Výkonové optimizéry (323 ks)	
Konstrukce se sklonem 15 ° ukotvena do střešního pláště	
Vyzbrojený podružný rozvaděč AC/DC	
Kompletní kabeláž AC/DC včetně kabelových tras	
Elektroinstalační práce	
Konstrukční práce	
Konfigurace	
Ostatní	400 000,00 Kč
Technická pomoc	
Revize	
Uvedení do provozu a zaškolení obsluhy	
Doprava materiálu	
Monitoring	
Celková cena bez DPH	5 150 000,00 Kč
DPH 21 %	1 081 500,00 Kč
Cena s DPH	6 231 500,00 Kč

Hlavním ukazatelem ceny elektrárny je jednotková cena za kWp. Na trhu je aktuální přibližné rozpětí cen fotovoltaických elektráren s výkonem větším než 5 kWp od 19 do 35 tisíc Kč za 1 kWp. Při přepočtu vychází cena navržené elektrárny na 21 841,47 Kč za kWp. Tato elektrárna se tedy z ekonomického hlediska jeví jako konkurenceschopná.

Tabulka (Tab. 12) zahrnuje ceny použitých fotovoltaických panelů, střídačů a výkonových optimizérů, které jsou získány z katalogu firmy Memodo. Dále je zde stanovena přibližná cena konstrukce se zátěží, která se ukotví na střechu objektu a na ní bude fotovoltaický systém namontován. Konstrukci dodává firma K2 nebo KRAJICzech.

Tab. 12: Ceny položek fotovoltaického systému

	Cena za kvantitu	Celková cena
FV panely: LONGi 365Wp MONO (646 ks)	6,03 Kč/1 Wp	1 421 813,70 Kč
Střídač: SolarEdge SE33.3K (6 ks)	38 509,94 Kč/ks	231 059,64 Kč
Výkonové optimizéry (323 ks)	1 159,99/ks	374 676,77 Kč
Konstrukce se sklonem 15 °		2 000 000,00 Kč

4.2.1 Prostá návratnost

Navržená fotovoltaická elektrárna s cenou 5 150 000 Kč bez DPH, při roční výrobě 247,74 MWh v tuzemských podmínkách s cenou elektrické energie z VN hladiny 1,75 Kč za kWh ročně uspoří 433 545 Kč. To znamená, že výsledná návratnost se pohybuje cca kolem 12 let. S 30letou životností elektrárny se počáteční investice vrátí více než 2x, závisí na délce provozu FVE. S těmito hodnoty se dále počítá v tabulce (Tab. 13).

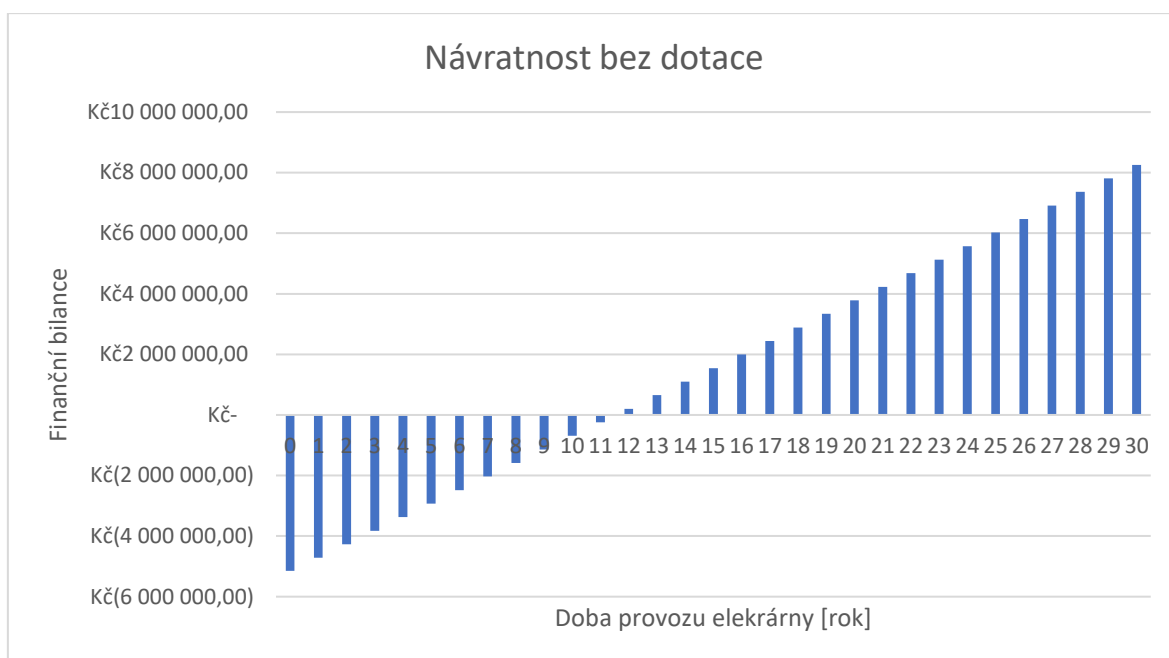
Pro kontrast je vhodné uvést zákazníka, který odebírá elektrickou energii ze strany NN, kde se aktuální průměrná cena pohybuje okolo 4,83 Kč za 1 kWh včetně DPH [51], tj. cca 3,82 Kč bez DPH. Tento zákazník by ročně uspořil 946 366,80 Kč. Prosté návratnosti by se u toho zákazníka dosáhlo za necelých 5,5 let.

Tyto hodnoty vycházejí z toho, že nebylo požádáno žádné dotace, tudíž při využití možných dotací bude vstupní investice menší a navrátí se v kratší době.

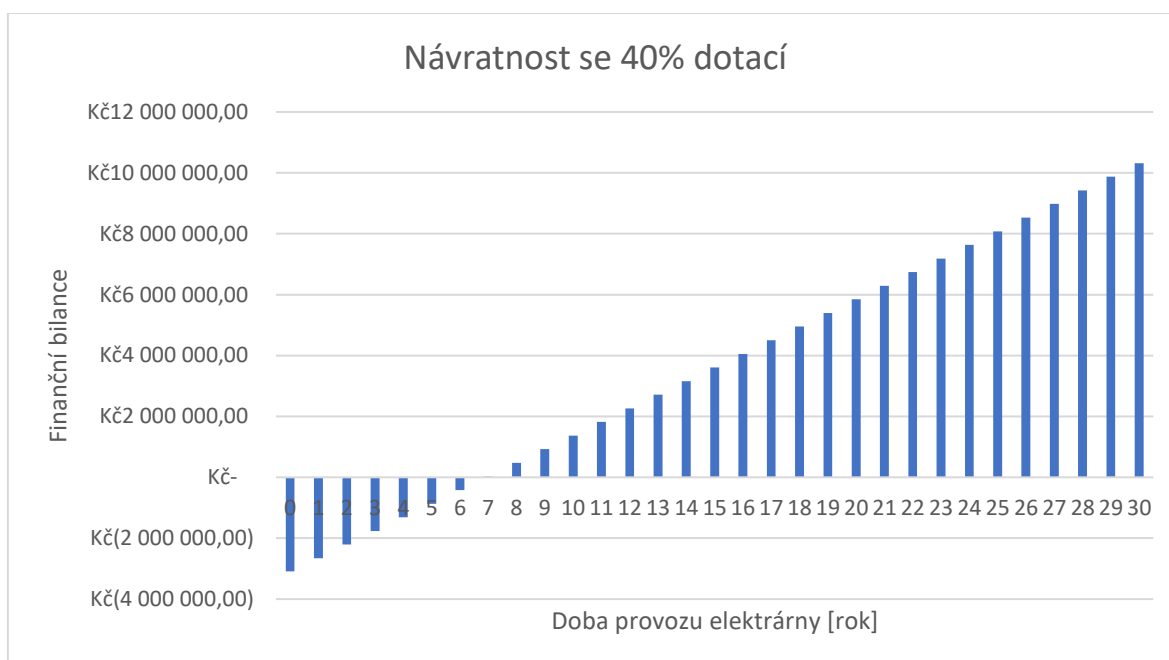
V tabulce (Tab. 13) je shrnuta finanční návratnost v průběhu životnosti navržené fotovoltaické elektrárny. Zmíněné hodnoty jsou ovlivněny průměrnou roční mírou inflace 3,2 % [52]. Lze zde vyčíst, že bez dotace by se vstupní investice FVE vrátila během 12 let a při využití dotace, například OP PIK, která může dotovat cca 40 % způsobilých výdajů (dle velikosti podniku), by se doba prosté návratnosti snížila na pouhých 7 let. V případě 40% dotace je z ceny 5 150 000 Kč dotováno 2 060 000 Kč. V obrázcích (Obr. 16 – Obr. 17) lze graficky porovnat verze prosté návratnosti s dotací a bez dotace.

Tab. 13: Prostá návratnost během životnosti fotovoltaické elektrárny

	Bez dotace [Kč]	S dotací 40 % [Kč]
0. rok	-5 150 000,00	-3 090 000,00
1. rok	-4 716 455,00	-2 656 455,00
2. rok	-4 269 036,56	-2 209 036,56
3. rok	-3 821 618,12	-1 761 618,12
4. rok	-3 374 199,68	-1 314 199,68
5. rok	-2 926 781,24	-866 781,24
6. rok	-2 479 362,80	-419 362,80
7. rok	-2 031 944,36	28 055,64
8. rok	-1 584 525,92	475 474,08
9. rok	-1 137 107,48	922 892,52
10. rok	-689 689,04	1 370 310,96
11. rok	-242 270,60	1 817 729,40
12. rok	205 147,84	2 265 147,84
13. rok	652 566,28	2 712 566,28
14. rok	1 099 984,72	3 159 984,72
15. rok	1 547 403,16	3 607 403,16
16. rok	1 994 821,60	4 054 821,60
17. rok	2 442 240,04	4 502 240,04
18. rok	2 889 658,48	4 949 658,48
19. rok	3 337 076,92	5 397 076,92
20. rok	3 784 495,36	5 844 495,36
21. rok	4 231 913,80	6 291 913,80
22. rok	4 679 332,24	6 739 332,24
23. rok	5 126 750,68	7 186 750,68
24. rok	5 574 169,12	7 634 169,12
25. rok	6 021 587,56	8 081 587,56
26. rok	6 469 006,00	8 529 006,00
27. rok	6 916 424,44	8 976 424,44
28. rok	7 363 842,88	9 423 842,88
29. rok	7 811 261,32	9 871 261,32
30. rok	8 258 679,76	10 318 679,76



Obr. 16: Graf prosté návratnosti FVE bez dotace v průběhu 30 let



Obr. 17: Graf prosté návratnosti FVE s dotací 40 % v průběhu 30 let

4.3 Ekologické zhodnocení fotovoltaické elektrárny

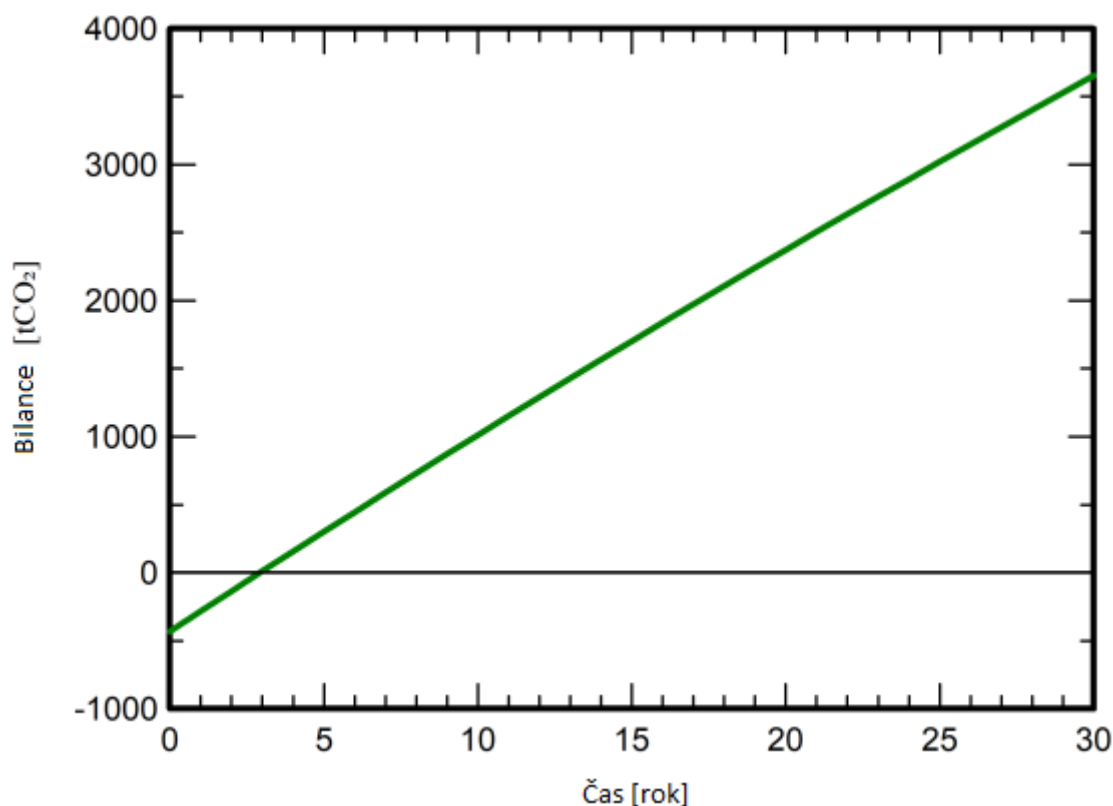
Z ekologického hlediska veškeré vyrobené emise spojené s výrobou a likvidací komponentů fotovoltaické elektrárny vyprodukuje cca 423,03 tun CO₂. Tato hodnota vyplývá z následující tabulky (Tab. 14), ve které jsou vypsány jednotlivé prvky, které jsou zahrnuty v produkci emisí spojených s navrženou fotovoltaickou elektrárnou. Životní cyklus navržené elektrárny se předpokládá na cca 30 let. Do životního cyklu zařízení spadá provoz, výroba, údržba, likvidace atd. Při 30leté životnosti je navržená fotovoltaická elektrárna

schopna nahradit až 3653,308 tun CO₂ uhlíkové stopy ve stávající síti. V přepočtu tak ročně ušetří 121,777 tun CO₂. V porovnání na instalovaný výkon 15,494 tun CO₂/kWp. Tento výpočet byl proveden softwarem (PVsyst) s předpokladem roční degradace výkonu fotovoltaických panelů o hodnotě 0,6 %. Tato hodnota byla vybrána dle parametrů zvolených fotovoltaických panelů.

Tab. 14: Produkce emisí ve fotovoltaickém systému

Zařízení	Emise spojené s životním cyklem zařízení	Kvantita	Celkem [kgCO ₂]
Fotovoltaické moduly	1713 kgCO ₂ /kWp	236 kW	403842
Výkonové optimizéry	4 kgCO ₂ /kg	6460 kg	25810
Invertory	396 kgCO ₂ /ks	6 ks	2375
			432027

Graf (Obr. 18) zobrazuje v jednotlivých rocích úsporu emisí CO₂, kdy při uvedení fotovoltaické elektrárny do provozu, tedy v roce 0, jsou počáteční emise spojené s výrobou, údržbou a také recyklací použitých fotovoltaických modulů, výkonových optimizérů a invertorů 423,03 tun CO₂.



Obr. 18: Graf úspory emisí CO₂ v závislosti na čase

Manuálním výpočtem s využitím emisního faktoru daným ministerstvem průmyslu a obchodu ČR se můžeme dostat k úspoře 3180,47 tCO₂. Použitý emisní faktor 0,428 tCO₂/MWh je stanoven za základě podkladových dat Souhrnné energetické bilance ČR za rok 2019 [53]. Pro srovnání, k roku 2010 byl emisní faktor 0,554 tCO₂/MWh [53].

$$\text{Roční produkce energie} \cdot \text{emisní faktor} \cdot \text{životnost elektrárny} = \text{nahrazené emise} \quad (14)$$

$$247,7 \text{ MWh} \cdot 0,428 \frac{\text{tCO}_2}{\text{MWh}} \cdot 30 \text{ let} = 3180,47 \text{ tCO}_2 \quad (15)$$

Výsledné hodnoty nejsou stejné a je vhodné je brát spíše jako orientační.

Závěr

V první části této práce byla popsána problematika zahrnující vznik fotovoltaického jevu a rozdělení fotovoltaických článků. Jsou zde popsány fotovoltaické systémy ostrovní a síťové. Dále následuje recyklace fotovoltaických panelů.

V druhé části byly vypsány klíčové body legislativy se stěžejním energetickým zákonem č. 458/2000 Sb. Také jsou zde shrnuty aktuální dotační programy, které je možné čerpat při stavbě FVE.

Třetí část byla věnována návrhu fotovoltaické elektrárny. Nejprve bylo určeno vhodné umístění elektrárny, střecha firemní budovy v Prachaticích. Pro elektrárnu byly vybrány monokrystalické fotovoltaické panely LONGi 365Wp MONO, výkonové optimalizéry, umožňující sledování bodu maximálního výkonu fotovoltaických panelů, SolarEdge P801 a střídač SolarEdge SE33.3K. Návrh byl projektován v počítačových programech PVsyst a HelioScope. Výsledný instalovaný výkon elektrárny by činil 235,79 kWp. Důležité je také uvést, že ve zvolené lokalitě se FVE s odlišnými parametry, již nachází.

Poslední částí práce bylo zhodnocení navržené fotovoltaické elektrárny, která je z energetického hlediska schopna dle podmínek generovat cca 247,7 MWh energie za rok. Výrobou a likvidací jednotlivých komponent vznikají emise, které je nutné započíst do ekologického zhodnocení, tyto emise by čítaly zhruba 423,03 tun CO₂. Navržená elektrárna by během své životnosti, stanovené na 30 let, mohla nahradit až 3653,308 tun CO₂ uhlíkové stopy ve stávající síti.

Myslím si, že výstavba navržené elektrárny je rozhodně smysluplná, jelikož by za dobu svého provozu kromě výroby el. energie taktéž uspořila nemalé množství emisí a financí. Přikláním se k výstavbám FVE na nezastavěných střešních plochách.

Z mého pohledu se domnívám, že fotovoltaika bude mít v následujících letech zásadní vliv na výrobu elektrické energie, a to nejen z důvodu nutnosti snížení uhlíkové stopy a výroby zelené energie, ale i kvůli neustálému zvyšování spotřeby el. energie. Aby bylo možné dosáhnout uhlíkové neutrality, tak je potřeba zapojení celého světa.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] CIUCCI, Mateo a EVROPSKÝ PARLAMENT. Obnovitelná energie. *Průmyslová politika a politika výzkumu* [online]. 2020 [vid. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/cs/sheet/70/renewable-energy>
- [2] SOLÁRNÍ ASOCIACE. *Solární rok 2020: Česká fotovoltaika roste i během pandemie, stále ale nevyužíváme její plný potenciál* [online]. 2021 [vid. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.solarniasociace.cz/cs/aktualne/21054-solarni-rok-2020--ceska-fotovoltaika-roste-i-behem-pandemie--stale-ale-nevyuzivame-jeji-plny-potencial>
- [3] FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS, ISE with support of PSE Projects GmbH. *PHOTOVOLTAICS REPORT* [online]. 2020 [vid. 2020-12-04]. Dostupné z: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>
- [4] ANDREAS HENZE, Werner Hillenbrand. *Elektrický proud ze slunce*. 1. Ostrava: HEL, 2000. ISBN 80-86167-12-7.
- [5] KUSALA, Jaroslav. Fotovoltaický jev. *SVĚT ENERGIE* [online]. 2006 [vid. 2020-12-02]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/solar.htm>
- [6] DONEV, J.M.K.C. et al. *Energy Education - Photovoltaic effect* [online]. 2015 [vid. 2020-12-02]. Dostupné z: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_effect
- [7] QUASCHING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. stavitel. Praha: Grada Publishing, a.s., 2010. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [8] BECHNÍK, Bronislav. *Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaice* [online]. 2014 [vid. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaice>
- [9] POULEK, Vladislav a Martin LIBRA. *Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů*. *ELEKTRO 03/2010* [online]. 2010. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/konstrukce-a-vyroba-fotovoltaickych-clanku-a-panelu--10310>
- [10] MATUŠKA, Tomáš. *Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací. Vytápění, větrání, instalace* [online]. 2016 [vid. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednoduseney-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci>
- [11] COULEE LIMITED. *Solar Panels – Effects of Shading & How to Avoid It?* [online]. 2019 [vid. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://couleenergy.com/solar-panels-effects-of-shading/>
- [12] SENDY, Andrew. *Types of solar panels: which one is the best choice?* [online].

- 2020 [vid. 2020-12-04]. Dostupné z: <https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels>
- [13] ENERGYSAGE. Monocrystalline and polycrystalline solar panels: what you need to know. *Smarter energy decisions* [online]. 2020 [vid. 2020-12-02]. Dostupné z: <https://www.energysage.com/solar/101/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/>
- [14] SOLAR MAGAZINE. *[Comparison] Monocrystalline vs Polycrystalline Solar Panels* [online]. 2020 [vid. 2020-12-04]. Dostupné z: <https://solarmagazine.com/solar-panels/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/>
- [15] DONEV, J.M.K.C. et al. *Energy Education - Photovoltaic system* [online]. 2020 [vid. 2020-12-02]. Dostupné z: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_system
- [16] HASELHUHN, Ralf a Petr MAULE. *Fotovoltaické systémy : energetická příručka pro elektrikáře, techniky, instalatéry, projektanty, architekty, inženýry, energetiky, manažery, stavitele, studenty, učitele, ostatní odborné a profesní soukromé nebo veřejné instituce a zájemce o fotovoltaiku*. 1. vydání. Plzeň: Česká fotovoltaická asociace, 2017. ISBN 978-80-906281-5-1.
- [17] NOVÁK, Jan. *Fotovoltaika na zahradě* [online]. 2008. Dostupné z: <https://abecedazahrady.dama.cz/clanek/fotovoltaika-na-zahrade>
- [18] NEWKIRK, Martin. *How Solar Power Works - On-Grid, Off-Grid And Hybrid Systems* [online]. 2016 [vid. 2020-12-04]. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/2014/5/4/how-solar-works>
- [19] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika. Elektřina ze slunce*. 2. vydání. Brno: ERA group spol. s.r.o., 2008. ISBN 978-80-7366-133-5.
- [20] THOUBBORON, Kerry. What size solar inverter do I need? *energysage* [online]. [vid. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://news.energysage.com/what-size-solar-inverter-do-i-need/>
- [21] Top 5 Differences Between On-Grid and Off-Grid Solar Systems. *Solar Powered Blog* [online]. Dostupné z: <https://solarpoweredblog.com/on-grid-vs-off-grid-solar-systems/>
- [22] MATAJS, Vladimír. Jak se recyklují solární panely a kdo to zaplatí? *O energiích a úsporách* [online]. 2020 [vid. 2021-05-04]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/kolik-stoji-recyklace-solarnich-panelu/>
- [23] TAO, Meng, Vasilis FTHENAKIS, Burcak EBIN, Evelyn BUTLER, Parikhith SINHA, Richard CORKISH, Karsten WAMBACH a Ethan SIMON. Major Challenges and Opportunities in Silicon Solar Panel Recycling. In: *2020 47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)* [online]. B.m.: IEEE, 2020, s. 0292–0294. ISBN 978-1-7281-6115-0. Dostupné z: doi:10.1109/PVSC45281.2020.9300650

- [24] SOLÁRNÍ ASOCIACE. *Legislativa* [online]. [vid. 2021-04-28]. Dostupné z: <https://www.solarniasociace.cz/cs/pro-verejnost/legislativa>
- [25] MATAJS, Vladimír. *Potřebujete stavební povolení na montáž FVE?* [online]. 2020 [vid. 2021-03-23]. Dostupné z: <https://www.solarniexpert.cz/je-potreba-stavebni-povoleni-nebo-ohlaska-na-instalaci-fotovoltaickych-panelu/>
- [26] KUDLÍK, Leoš. *Solární panely z pohledu stavebního zákona* [online]. [vid. 2021-03-23]. Dostupné z: <https://www.iurium.cz/2017/06/02/solarni-panely-z-pohledu-sz/>
- [27] SOLÁRNÍ ASOCIACE. *Dotiční programy* [online]. [vid. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://www.solarniasociace.cz/cs/pro-verejnost/dotacni-programy>
- [28] STÁTNÍ FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČR. *Dotace pro vaše lepší bydlení* [online]. [vid. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/>
- [29] STÁTNÍ FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČR. *Programy podpory* [online]. [vid. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/modernizacni-fond/programy/>
- [30] ENOVATION S.R.O. *Úspory energie* [online]. [vid. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://www.oppik.cz/dotacni-programy/uspory-energie>
- [31] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *ÚSPORY ENERGIE - VI. výzva* [online]. 2020 [vid. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/podnikani/dotace-a-podpora-podnikani/oppik-2014-2020/vyzvy-op-pik-2020/uspory-energie---vi--vyzva--258094/>
- [32] AGENTURA PRO PODNIKÁNÍ A INOVACE. *Úspory energie – Výzva VI* [online]. [vid. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://www.agentura-api.org/cs/programy-podpory/uspory-energie/uspory-energie-vyzva/>
- [33] AGENTURA PRO PODNIKÁNÍ A INOVACE. *Úspory energie s EPC – Výzva VI* [online]. [vid. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://www.agentura-api.org/cs/programy-podpory/uspory-energie/uspory-energie-s-epc-vyzva-vi/>
- [34] ENOVATION S.R.O. *Nástupcem OPPIK bude OPTAK* [online]. [vid. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://www.oppik.cz/aktuality/nastupcem-oppik-bude-optak>
- [35] AGENTURA PRO PODNIKÁNÍ A INOVACE. *OP TAK* [online]. [vid. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://www.agentura-api.org/cs/op-tak/>
- [36] ENOVATION S.R.O. *Operační program Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost* [online]. [vid. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://www.dotace-optak.cz/>
- [37] ENOVATION S.R.O. *Operační program Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost (OP TAK)* [online]. [vid. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://www.enovation.cz/optak>
- [38] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Operační program Životní prostředí* [online]. [vid. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://www.opzp.cz/>

- [39] PENIZEPROPRAHU. *Operační program Praha – pól růstu ČR* [online]. [vid. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://www.penizeproprahu.cz/operacni-program-praha-pol-rustu-cr/>
- [40] ČESKOMORAVSKÁ ZÁRUČNÍ A ROZVOJOVÁ BANKA, a.s. *Bezúročný úvěr na energeticky úsporné projekty* [online]. [vid. 2021-05-04]. Dostupné z: <https://www.cmzrb.cz/podnikatele/uvery/uspory-energie/>
- [41] METEOBLUE. *Podnebí Prachatice* [online]. [vid. 2021-01-04]. Dostupné z: 23-05-2021
- [42] SECONDSOL. *SOLAR PANEL* [online]. [vid. 2021-05-23]. Dostupné z: <https://www.secondsol.com/en/anzeige/27159//longi-solar/lr4-60-hph-365-m>
- [43] LONGI SOLAR a SOLSOL S.R.O. *LR4-60HPH 350-380M* [online]. 2020 [vid. 2021-05-25]. Dostupné z: doi:20200414V11
- [44] SOLARITY. *Recenze: Výkonové optimizéry SolarEdge vs. Tigo* [online]. [vid. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://solarity.cz/cs/blog/recenze-vykonove-optimizery-solaredge-vs-tigo/>
- [45] SOLAREEDGE. *Power Optimizer* [online]. 2021 [vid. 2021-05-25]. Dostupné z: <https://www.solaredge.com/sites/default/files/se-p-series-commercial-add-on-power-optimizer-datasheet.pdf>
- [46] SOLAREEDGEPV. *SolarEdge Design: Power Optimizers, Pt. 2 - Optimizer to Module Ratio* [online]. 2019 [vid. 2021-05-24]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=lh4F1UXgot4>
- [47] SOLAREEDGE. *Solární měnič SolarEdge SE33.3K-RW00IBNM4* [online]. [vid. 2021-05-23]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/trifazove/2906-solarni-menic-solaredge-se333k-rw00ibnm4.html>
- [48] ALFSEN, Jeniffer. *How to Calculate PV String Size. design, basics* [online]. 2018 [vid. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://www.mayfield.energy/blog/pv-string-size>
- [49] SOLAREEDGE. *Three Phase Inverter* [online]. 2020 [vid. 2021-05-25]. Dostupné z: <https://www.solaredge.com/sites/default/files/se-three-phase-inverter-with-setapp-configuration-datasheet.pdf>
- [50] SOLAREEDGEPV. *SolarEdge Design: Power Optimizers, Pt. 3: String Sizing* [online]. 2019 [vid. 2021-05-24]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=YP5ik77b_v4
- [51] ENERGIE123. *Cena 1 kWh* [online]. [vid. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>
- [52] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Inflace - druhy, definice, tabulky* [online]. 2021 [vid. 2021-05-01]. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/czso/mira_inflace
- [53] BUFKA, Aleš. *Hodnota emisního faktoru CO₂ z výroby elektřiny za léta 2010–2019* [online]. 2021. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/elektrina-a->

teplo/hodnota-emisního-faktoru-co2-z-vyroby-elektriny-za-leta-2010_2019--
258830/