

Mendelova univerzita v Brně

Agronomická fakulta

Ústav techniky a automobilové dopravy



**Zhodnocení vlivu záměrného čištění fotovoltaické elektrárny na její
produkční parametry**

Bakalářská práce

Vedoucí práce:

doc. Ing. Martin Fajman, Ph.D.

Vypracoval:

Hubert Šťastný

Brno 2015

- zadání (bude vloženo původní podepsané zadání práce, tištěno oboustranně)

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem práci Zhodnocení vlivu záměrného čištění fotovoltaické elektrárny na její produkční parametry vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne

Hubert Šťastný

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Martinu Fajmanovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytl během zpracování práce.

ABSTRAKT

ŠŤASTNÝ HUBERT. Zhodnocení vlivu záměrného čištění fotovoltaické elektrárny na její produkční parametry. Bakalářská práce. Brno, 2015

Bakalářská práce je zaměřena na zhodnocení vlivu záměrného čištění fotovoltaické elektrárny na její produkční parametry. V literárním přehledu jsou definovány základní informace o sluneční energii, fotovoltaickém jevu, rozdělení FV článků, zařízení FV elektráren, dané legislativě a faktorech ovlivňujících výkon FVE. Praktická část se zabývá charakteristikou konkrétní FVE, jejích produkčních parametrů a technických zařízení. Porovnávají se zde výkonová data před a po čištění solárních panelů. Následně se vyhodnocuje výkonnostní přínos pro elektrárnu. V závěru práce se analyzují finanční náklady na čištění a vyhodnotí se finanční přínos pro majitele elektrárny.

Klíčová slova: Fotovoltaické systémy, účinnost, čištění fotovoltaické elektrárny.

ŠŤASTNÝ HUBERT. Evaluation of the influence of intentional solar panel cleaning on the production parameters. Bachelor thesis, Brno, 2015.

This thesis is focused on the evaluation of the influence of intentional solar panel cleaning on the production parameters. The basic theoretical information about solar energy, photovoltaic effect, division of the photovoltaic cells, solar power station equipment, the legislation and factors affecting the power of photovoltaic plant is described in the theoretical part. The practical part deals with the specific characteristics of the photovoltaic plant, its production parameters and technical equipment. The same, performance of the panels before and after cleaning is compared in this part. And finally, this part focuses on the benefits of cleaning for the plant and its production increase. Financial costs and the financial contribution to the owner of power station are discussed in the conclusion part.

Key words: photovoltaic systems, efficacy, cleaning of photovoltaic power station

Obsah

1. ÚVOD	8
2. CÍL PRÁCE	9
3. LITERÁRNÍ PŘEHLED	10
3.1 Slunce	10
3.1.1 Historie	11
3.1.2 P-N přechod	12
3.1.3 Rozdělení fotovoltaických článků dle použitého materiálu	14
3.1.4 Způsoby zapojení FVE do sítě	16
3.2 Ostatní zařízení umožňující chod elektrárny	18
3.3 Legislativa	21
3.3.1 Zákon č. 458/2000 Sb., Energetický zákon	21
3.3.2 Zákon č. 180/2005 Sb.	21
3.3.3 Zákon č. 310/2013 Sb.	22
3.4 Vliv fotovoltaiky na životní prostředí	23
3.5 Správná instalace modulů	24
3.6 Bezpečnost provozu	25
3.7 Investice	26
3.7.1 Dělení investic	26
3.7.2 Určení jednorázových nákladů na investici	27
3.7.3 Vykupování elektrické energie	28
3.8 Faktory ovlivňující výkon fotovoltaické elektrárny	30
3.8.1 Materiál	30
3.8.2 Antireflexní vrstvy	30
3.8.3 Poloha, sklon a natáčení FV panelů	30
3.8.4 Přírodní podmínky	31
3.9 Čištění fotovoltaických elektráren	34

3.9.1 Znečištění fotovoltaických panelů	34
4. MATERIÁL A METODIKA.....	36
4.1 Způsoby čištění FVE.....	36
4.1.1 Čistící a ochranné prostředky	37
4.2 Popis FVE v Jihomoravském kraji.....	38
4.3 Konkrétní metoda čištění FVE.....	39
5. VÝSLEDKY A DISKUZE	41
5.1 Zhodnocení výběru typu čištění	41
5.2 Výsledky čištění	41
5.3 Diskuze.....	44
6. ZÁVĚR	46
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	47
7.1 Seznam použitých literárních zdrojů	47
7.2 Seznam použitých zákonů a vyhlášek	48
8. SEZNAM TABULEK	49
9. SEZNAM OBRÁZKŮ	50
10. SEZNAM ZKRATEK.....	51
11. PŘÍLOHY	52

1. ÚVOD

Slunce, díky němuž všichni můžeme existovat, je nejbližší hvězdou naší planety. Teplota na jeho povrchu je asi 5 500 °C. Díky termionukleární reakci dochází k vyzařování sluneční energie. Udržuje na planetě Zemi klima vhodné pro život, podílí se na fotosyntéze a umožňuje lidstvu využívat jeho energii.

Protože se v budoucích miliardách let vyčerpání vodíku na Slunci neočekává, můžeme tento zdroj energie zařadit k obnovitelným. Současné dominantní využívání neobnovitelných zdrojů energie v energetickém mixu vede k ubývání zásob samotných neobnovitelných zdrojů energie, ovlivňování klimatu Země, devastování krajinného rázu a tedy obecně ke zhoršování podmínek pro život. Je proto třeba hledat nové možnosti získávání energie, aby nedošlo k úplnému vyčerpání těchto zdrojů. Snahou je zužít co nejlépe a nejefektivněji zdroje obnovitelné jako jsou solární, geotermální a slapové energie, resp. jejich přírodní projevy v podobě větru, koloběhu vody v přírodě, růstu biomasy apod.

Ze všech obnovitelných zdrojů na této planetě se jeví sluneční energie jako perspektivní možnost i do budoucna. Můžeme ji využívat ať už přímo nebo nepřímo. Využíváme-li tepelnou energii ze Slunce například v podobě solárních systémů pro ohřev vody, mluvíme o formě přímého technického využití, pokud však energie Slunce způsobí např. změny v atmosféře v podobě proudění vzdušné masy, a tuto energii využijeme ve větrných elektrárnách, jedná se o využití nepřímé, tedy sluneční energie přeměněnou prostřednictvím přírodních procesů. Za přímou formu využití lze také pokládat fotovoltaické systémy. Díky vědeckému pokroku se zvyšuje účinnost těchto systémů a v blízké budoucnosti můžeme očekávat další rozvoj a redukci výrobních nákladů.

Vzhledem ke skutečnosti, že Česká republika je součástí Evropské unie, zavázala se ke zvýšení podílu energie získané z obnovitelných zdrojů. Do roku 2020 by tento podíl měl dosáhnout alespoň k 13 %, aby byly splněny závazky vůči EU. Kromě dalších se vláda ČR rozhodla podporovat budování nových fotovoltaických elektráren.

2. CÍL PRÁCE

Hlavním cílem této bakalářské práce je porovnání vlivu jednotlivých druhů čištění na produkční parametry fotovoltaických systémů. V této práci se budu zabývat srovnáváním dat vyrobené elektrické energie před a po umytí fotovoltaických modulů. Pro naplnění hlavního cíle budu postupovat plněním dílčích cílů.

Práce se zaměřuje na jednotlivé znečišťující vlivy a typy čištění fotovoltaických panelů. Zmíněny jsou i druhy používaných přípravků, které se užívají pro čištění a ošetření povrchu panelů. Dále budou popsány parametry a technické specifiky konkrétní fotovoltaické elektrárny, která se nachází na Jižní Moravě v okrese Brno-venkov. U této elektrárny budou srovnána výkonová data před a po čištění a popsán konkrétní způsob mytí této elektrárny. Závěrem bude vybrán typ čištění, který je pro danou FVE nejvhodnější. Dále bude vyhodnocena finanční nákladnost na čištění FVE a vyjádřena změna výkonu elektrárny.

3. LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Slunce

Slunce je primárním a největším zdrojem energie v naší sluneční soustavě. Vlastním zdrojem energie Slunce je termo-jaderná fúze. Tato termojaderná reakce spojuje dvě jádra vodíku (ve formě deuteria a tritia) za vzniku jednoho jádra helia a volného neutronu. Každou sekundu se zde přemění 600 milionů tun vodíku na helium. Vzniklé helium má o něco menší hmotnost, než byla hmotnost vodíku do reakce vstupujícího. Rozdíl těchto hmotností můžeme přepočítat z Einsteinovy rovnice $E = m \cdot c^2$ na vzniklou energii. Tato energie se uvolňuje v množství $3,8 \cdot 10^{26}$ J každou sekundu. Uvolněná energie má formu elektromagnetického záření o frekvenci 10^{25} Hz, což je vysokofrekvenční (tvrdé) záření. Toto záření (foton) se ve slunečním jádře sráží s dalšími částicemi a předává svou energii do okolí. Z této energie vzniká další foton s o něco menší energií. Tento proces se opakuje nejméně deset milionů let, než je foton ochuzen o většinu energie a vyzářen ze Slunce. Potom jeho cesta k Zemi trvá asi osm minut a jeho energie je o devět řádů nižší, než po prvotní termonukleární reakci [1].

V zemské atmosféře dochází k pozměnění a ochuzení spektra slunečního záření vlivem molekul plynů, pevných částic prachu a aerosolů. Z hlediska intenzity slunečního záření můžeme rozlišovat přímé a difuzní záření. Za jasného počasí dopadá na zemský povrch záření přímé, při zatažené obloze dopadá záření difuzní. Výkon slunečního záření, které dopadá na zemskou atmosféru, v průměru činí $1\,367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ plochy kolmé k dopadajícím paprskům. Tento údaj nazýváme solární konstantou [3].

Část energie je průchodem atmosférou odražena či pohlcena, a tak na zemi dopadá asi $1 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ za slunečného počasí a při zatažené obloze jen desítky W. Hodnota $1\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ je používána jako referenční hodnota k určení výkonu solárních systémů. Intenzita osvitů a složení slunečního záření jsou ovlivňovány kromě počasí i roční a denní dobou a zeměpisnou šířkou. Pro hrubou představu při stanovení výkonu systému nutného k pokrytí požadované potřeby energie může posloužit pravidlo, že z 1 kW instalovaného výkonu lze v našich zeměpisných šířkách za rok získat 800 – 1 100 kWh elektrické energie, jak je vidět na obr. č. 1. Na jihovýchodě ČR je sluneční osvit až 1 800 hodin ročně a poskytuje přitom energii

cca $1\,220\text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$, zatím co na severu ČR činí sluneční osvit 1350 hodin ročně a poskytuje energii méně než $1\,000\text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ [3].

Dalším jevem ovlivňujícím svit je „Air Mass“ faktor, který porovnává výšku Slunce nad obzorem a efektivní množství vzduchu, kterým musí sluneční záření projít. Pokud se Slunce nachází nad bodem určení (v nadhlavníku), je „Air Mass“ faktor (AM) roven jedné. S klesajícím Sluncem se AM zvyšuje. Pro správné dimenzování a navrhnutí fotovoltaického systému je důležitý fotovoltaický energetický potenciál daného místa. V něm jsou zahrnuty všechny faktory ovlivňující sluneční záření dopadající na povrch Země [1].



Obrázek 1: Mapa globálního záření [18]

Údaje o intenzitě osvitů v dané lokalitě se získávají měřeními. K tomu se používá zařízení zvané pyranometr. Ten se skládá z černého a bílého povrchu pod skleněným krytem. Rozdíl teplot, naměřených souborem termočlánků na bílém a černém povrchu, je úměrný intenzitě dopadajícího záření. V tomto případě je sluneční záření přeměněno na teplo, takže odezva nezávisí na vlnové délce záření. Levnější varianta tohoto přístroje je založená na bázi křemíkového fotovoltaického článku [1].

3.1.1 Historie

Kořeny fotovoltaiky sahají až do roku 1839, kdy náhodným objevem Francouz Alexander Edmond Becquerel při experimentu s osvětlováním kovových elektrod ponořených v elektrolytu zjistil, že jimi prochází proud. První pevný fotovoltaický článek vytvořili Adams a Day v roce 1877 s použitím selenu. Dalším zdokonalením se dosáhlo účinnosti 1 % na ploše 30 cm^2 . Grondahl vytvořil články z oxidu měďného v tenké vrstvě na měděném plíšku a pomocí olověné spirály se odváděl vzniklý proud. Výhodou tohoto provedení byla cenová nenáročnost a dostupnost materiálu, avšak účinnost byla stále mizivá

[1].

Významným krokem kupředu pro Jana Czochralskiho byla příprava monokrystalu křemíku. V roce 1946 v USA si nechal Russell S. Ohl patentovat křemíkový fotovoltaický článek. První křemíkové články tak, jak je známe dnes s P - N přechodem s účinností 6 % vyrobili v Bellových laboratořích v roce 1954. Problémem byla jejich vysoká cena. Hlavním impulsem pro rozvoj v tomto odvětví bylo využití fotovoltaických článků na umělých družicích, kde to byla jediná možnost k dlouhodobému pohánění družic na oběžné dráze kolem Země. V tomto případě cena nehrála roli [2].

Ve větší míře se začalo využívat fotovoltaických článků po ropné krizi v sedmdesátých letech minulého století, kdy byla snaha zbavit se závislosti na ropě. To způsobilo výzkum nových technologií pro výrobu elektrické energie za pomoci obnovitelných zdrojů. Další významný posun znamenala masová výroba čistého křemíku do polovodičových součástek. Během let 2004 a 2005 zaznamenala fotovoltaika největší nárůst, který činil 42 %. Největší podíl na tom mělo Německo a Japonsko (85 %) [1].

3.1.2 P-N přechod

Generování elektrické energie je proces, při kterém se proud elektronů pohybuje od záporného pólu zdroje přes nějakou zátěž (spotřebič) zpět na kladný pól zdroje. K přeměnění energie proudu fotonů v energii elektrickou je zapotřebí mít dostatek volných elektronů a elektrický potenciál, který uvede volné elektrony do pohybu směrem od zdroje dále ke spotřebiči.

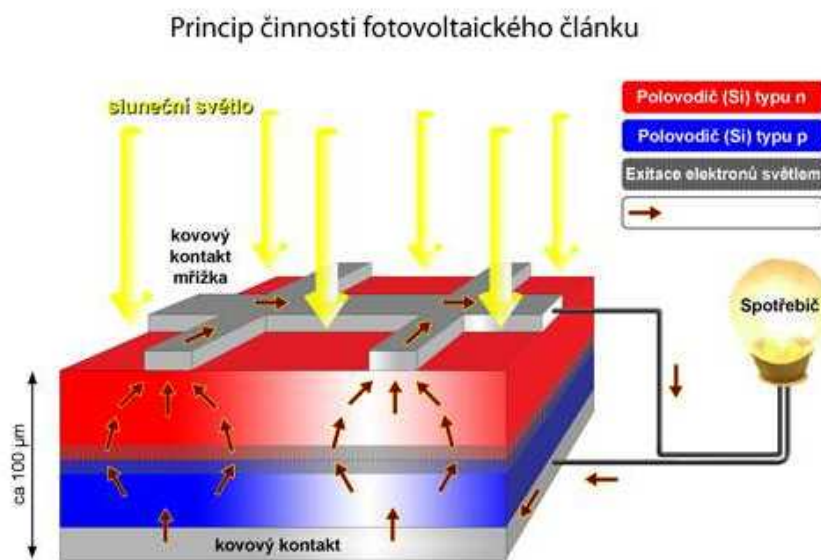
Základem principu je fakt, že při osvětlení polovodičů či kovů se z nich uvolňují volné elektrony, které převzaly energii z částic fotonů. Pokud je ozáření dostatečné, elektron zanechá v polovodiči či kovu kladný náboj, takzvanou „díru“. Tento proces se nazývá fotoelektrický jev. Pokud se elektrony uvolní do okolí mimo ozářenou látku, jedná se o vnější fotoelektrický jev, který je ve fotovoltaice nevyužitelný. Vnitřní fotoelektrický jev vzniká, když se volné elektrony emitují uvnitř látky. Jakmile projdou volné elektrony elektrickým obvodem (od zdroje, přes spotřebič, zpět do zdroje) vzniká jev, na kterém jsou založeny fotovoltaické systémy. K vytvoření vnitřního fotoelektrického jevu dochází v polovodičích, které jsou ve výrobě FV článků nejpoužívanější [2].

Elektrické vlastnosti polovodičů leží někde mezi kovy a izolanty. Znamená to, že v nich nejsou volné elektrony, tak jako v kovech, ale v případě zahřátí, či osvětlení slunečním zářením v nich volné elektrony vznikají. K oddělení elektronu a vytvoření děr je nezbytné vytvoření takzvaného P - N přechodu.

K vytvoření P - N přechodu se nejběžněji používá křemík. Ten je tvořen mřížkou atomů, které jsou spojeny kovalentními vazbami. Nejsou tady tedy k dispozici žádné volné elektrony, tak jako je tomu u kovů. Křemík ovšem potřebuje jen malé množství energie k uvolnění svých elektronů. Se zvyšující se teplotou se křemík stává více vodivým. Pokud křemík obsahuje určité příměsi, vodivost se výrazně mění. Podstatou takzvaného dopování křemíku je přidání malého množství bóru, či fosforu. Křemík má ve své valenční vrstvě čtyři elektrony, ale navázaný fosfor má elektronů pět. Tímto jevem vzniká polovodič typu N, který je více vodivý než čistý křemík, díky nadbytečným elektronům. Přidáním bóru do křemíku vzniká polovodič typu P. Bór má ve své valenční vrstvě pouze tři elektrony a tak při smísení s křemíkem, který má elektrony čtyři, vznikají nadbytečné díry. Jakmile se oba tyto typy polovodičů spojí, vzniká tenoučká vrstva s P - N přechodem [1].

Zapojením P - N přechodu do obvodu se spotřebičem a jeho následným ozářením se generují volné elektrony a díry. Když se dostane do kontaktu elektron a díra, dojde k tzv. rekombinaci nábojů (elektron zapadne do díry). Pohyb nabitých částic na protilehlé strany brzy skončí, protože po elektronech zůstanou v polovodiči typu N kladně nabité náboje a po dírách v polovodiči typu P záporně nabité. Ionty jsou vázány do pevné krystalické mřížky a nemohou se pohybovat. Takto vzniká tzv. hradlová vrstva s vlastním elektrickým polem, které brání pronikání elektronů do děr. Nastává rovnovážný stav, kde se nenachází žádné částice s nábojem, kvůli tomu má vrstva velký odpor. V případě, že se P oblast připojí ke kladnému pólu zdroje, vzniká v polovodiči elektrické pole, které je opačné oproti hradlové vrstvě. Následně pak dochází ke ztenčení této vrstvy, přechod P-N je zapojen v propustném směru a může jím proházet elektrický proud.

Napětí křemíkového fotovoltaického článku je přibližně 0,6 V. To ovšem při zatížení článku klesá a při optimálním proudu je 0,5 V. Tyto články se spojují do sérií s moduly po 36 nebo 72 článcích. Ty pak generují okolo 18 V nebo 36 V. Fotovoltaický článek ovšem může využít pouze fotony s energií větší, než 1,1 eV. Tuto hodnotu představuje záření o vlnové délce menší než 1 100 nm. Platí, že čím je vlnová délka kratší, tím větší mají fotony energii. Fotony procházející atmosférou ve slunečním záření mají energii od 0,5 eV do asi 2,9 eV. Důvod, proč je křemík tak vhodný pro fotovoltaické systémy je, že dokáže využít většinu spektra slunečního záření. Energie fotonu není bohužel využitelná úplně. Přebytek energie se promění v tepelnou energii. Vlivem dalších ztrát v systémech dosahuje účinnost fotovoltaického článku 10 až 20 % [1]. Princip činnosti FV článku je vidět na obr. č. 2.



Obrázek 2: Princip přeměny sluneční energie na FV článku [18]

3.1.3 Rozdělení fotovoltaických článků dle použitého materiálu

Základními jednotkami fotovoltaických systémů jsou fotovoltaické (FV) články. FV články se seskupují do různě velkých modulů, ať už výkonově, či velikostně. Nejvíce rozšířené křemíkové články se dělí na monokrystalické, polykrystalické a amorfni [1].

3.1.3.1 Monokrystalické

Jedná se o FV články první generace, které jsou zatím stále hojně využívány. Jejich předností je velmi dobrá účinnost a dlouhá životnost, tzn. dlouhodobá stabilita výkonu. V laboratorních podmínkách se dosáhlo účinnosti až 25 %, ovšem jejich běžná účinnost činí 14 - 17 %. Bohužel je velmi často nutné používat s těmito články tzv. trackery, které slouží k jejich natáčení za přímými paprsky Slunce. Další nevýhodou je potřeba velmi čistého křemíku při výrobě, což se negativně promítá na ceně těchto panelů. K jejich výrobě jsou použity krystaly monokrystalického křemíku o velikosti až 30 cm [1].

3.1.3.2 Polykrystalické

Pro polykrystalické křemíkové články je charakteristické to, že patří do druhé generace FV panelů. K jejich výrobě se používají tenkovrstvé křemíkové články. Ty se vyrábějí odléváním čistého křemíku do vhodných forem. Vzniklé ingoty se řezou na tenké plátky. Tento typ výroby pomocí odlévání je méně náročný na kvalitu křemíku i na technologie. To zapříčiňuje příznivější cenu, avšak menší účinnost (13 - 16 %). Nespornou výhodou je schopnost přijímat i difuzní sluneční záření. Díky této vlastnosti jsou vhodnější pro naši zeměpisnou šířku [1].

3.1.3.3 Články z amorfního křemíku

Oproti výše popsaným typům mají články z amorfního křemíku nejnižší náklady na výrobu. Výrobní proces je založen na rozkladu sloučenin křemíku ve vodíkové atmosféře. Velmi tenké vrstvy amorfního křemíku se nanáší na skleněné, plastové, či nerezové podložky. Tento postup zapříčiňuje vznik velmi tenkých a ohebných článků. Toho se využívá u armád a pro expediční účely. Značnou nevýhodou je nejnižší účinnost z předcházejících variant článků (5 - 7 %). Při použití tohoto typu článků v běžných typech FV elektráren je zapotřebí 2,5 krát větší plochy. Dokáže však velmi dobře využívat difuzního záření [1].

Stále probíhá vývoj nových FV článků. Křemíku, bohužel, začíná být znatelný nedostatek pro výrobu článků, a tak je vývoj zaměřen i na úplně nové články využívající jiné materiály než křemík. Většina nových typů FV článků jsou tenkovrstvé. Ty se dají vyrábět jednoduššími metodami jako napařováním, tisknutím, či elektrodepozicí. Jsou to metody, které se vyznačují nízkými náklady na masovou výrobu. Kromě křemíku se dále k výrobě FV

článků používají: galiumarsenid (arsenit galitý), diselenid mědi a india, telurid kadmia a nanostruktury [4].

3.1.4 Způsoby zapojení FVE do sítě

Samostatné fotovoltaické články dokážou vyrobit ze sluneční energie pouze proud stejnosměrný. Na to, aby bylo možné elektrický proud využít v elektrické síti, se musí převést napětí ze stejnosměrného na střídavé. Dle účelu se fotovoltaické elektrárny (FVE) dělí na systémy autonomní, systémy zapojené do sítě a systémy hybridní (spojují předchozí varianty).

Autonomní systémy

Tyto systémy se používají zejména v odlehlých místech, kde chybí rozvodná elektrická síť. Využívají se na jachtách, expedičních, vědeckých a vojenských základnách, u telekomunikačních zařízení. V základním nastavení tyto FVE pracují se stejnosměrným napětím. Na vytvoření střídavého napětí lze využít měnič, nebo-li invertor. K uchování energie slouží akumulátory, jak je patrné ze schématu na obr. č. 3. Energie se v nich uchovává na období se sníženým svitem, nebo na noc [6].



Obrázek 3: Schéma zapojení autonomního systému [18]

System zapojený do sítě

Využití nachází především u fotovoltaických elektráren nacházejících se v obydlených oblastech. Invertor přemění napětí před vstupem do rozvodné sítě, např. 36 V na 230 V o frekvenci 50 Hz. Základním požadavkem u invertoru je, aby pracoval ve stejné fázi jako síť. To z důvodu ochrany sítě, aby když je vypnutý elektrický proud byly vypnuté i dodávky elektrické energie z invertoru FVE. Dalším důležitým prvkem je elektroměr. Určuje stav dodané energie do sítě. Většinou se jich umísťuje více, na každou sekci elektrárny a to z kontrolních důvodů. Dle elektroměrů se dá zjistit stav vyrobené elektřiny na jednotlivých sekcích, ale i odhalit poruchy a nefunkční články [6]. Schéma zapojení síťového systému je znázorněno na obr. č. 4.



Obrázek 4: Schéma zapojení síťového systému [18]

Hybridní systém

Hybridní systémy kombinují obě předchozí varianty, jak je vidět na obr. č. 5. Využívají se u menších a malých FVE, které slouží prvotně k dodávce energie do objektu, kde se systém nachází. Umísťují se na střechy, či fasády budov firem, rodinných domů a průmyslových objektů. Primárně je vyrobená energie rozváděna do interní sítě objektu. Při jejím nevyužití se dále dodává do rozvodné sítě. V případě opačném, nedostatku elektrické energie v interní síti objektu, je energie dodávána z rozvodné sítě. To pomáhá zejména v zimním období. U domovních systémů s výkonem do 10 kW se používá třífázový měnič napětí [2].



Obrázek 5: Schéma zapojení hybridního systému [18]

3.2 Ostatní zařízení umožňující chod elektrárny

Kromě samotných fotovoltaických panelů potřebuje ke svému chodu elektrárna řadu dalších neméně důležitých zařízení. Jejich počet a komponenty jsou závislé na účelu elektrárny. Záleží na nich i výsledná energetická bilance a hlavně cena a doba návratnosti investice.

Základním zařízením hned po FV panelech jsou měniče, tzv. invertory. Pokud je cílem vyrobený proud dodávat do rozvodné sítě, musí být nejdříve přeměněn na střídavý o určitém

napětí (zpravidla 240 V, nebo i více). Invertory nejdříve stejnosměrný proud přemění pomocí spínacích obvodů na střídavý a následně je transformován na určité napětí. Kromě frekvence, napětí a výkonu má velký význam i tvar střídavého napětí. Nejvhodnější jsou elektronické měniče se sinusovým průběhem napětí. Společnosti vykupující energii mají jasně stanoveny požadavky na průběh napětí. Při dodávce energie do sítě se používá synchronní inverter, který je přifázován k síti tzn., aby elektrická energie dodávaná do sítě měla přesnou fázi. Tím se předchází riziku, vzniklému při odstávkách a opravách rozvodné sítě.

Měřicí zařízení jsou důležitá z hlediska prodeje elektřiny. Množství elektrické energie produkované elektrárnou musí být na výstupu měřeno elektroměry. V případě menšího fotovoltaického systému na rodinných domech se používají dva elektroměry. Jeden měří energii vyprodukovanou elektrárnou a druhý měří energii spotřebovanou domem a zařízením v objektu [3].

Autonomní systémy, jež nedodávají elektřinu do sítě, jsou nákladnější než systémy do sítě dodávající. Důvodem jsou akumulátory, které mohou uchovávat energii pro období s menším slunečním svitem. Ty mohou u některých systémů dosahovat až 60 % celkových nákladů, zejména díky životnosti akumulátorů, která bývá poloviční oproti životnosti fotovoltaických panelů. Nejčastěji používanými jsou olověné akumulátory. Jsou oproti normálním autobateriím optimalizovány pro hluboké vybíjení a vysoký stupeň cykličnosti. Alkalické akumulátory, zejména Ni-Cd (nikl-kadmiové) se používají poměrně zřídka. Jejich výhodou je delší životnost (10 – 20 let při 60 – 80 % vybíjení). Nevýhodou je hlavně samovybíjení. Kadmium se navíc řadí do nebezpečného odpadu. Lithium-iontové baterie mají nejlepší parametry, zanedbatelné samovybíjení, netrpí tzv. paměťovým efektem a poskytují vysoké napětí. Bohužel pro fotovoltaiku jsou zatím velmi drahé.

Velmi významným prvkem některých FVE je natáčení FV panelů. Toho lze dosáhnout namontováním panelů na pohyblivý stojan, který sleduje Slunce a zajišťuje kolmý dopad slunečních paprsků v průběhu dne. U menších systémů se používá automatické natáčení panelů kolem jedné osy. To umožňuje sledovat denní pohyb Slunce po obloze. Několikrát do roka se ručně nastaví naklonění panelů v reakci na změnu výšky Slunce na obzoru. Principů sledování slunečního pohybu je celá řada, jeden z progresivních a spolehlivých principů je založen na stejném osvitu dvou čidel, na která musí v rovnováze dopadat stejné množství

slunečního záření. U velkých systémů se panely naklání automaticky ve dvou osách. Řídící jednotka systému naklápění je řízena počítačem, který neustále vyhodnocuje pozici Slunce.

Pro ještě větší zvýšení účinnosti existují koncentrátoři. Jsou to optická zařízení schopna shromáždit sluneční záření z velké plochy a soustředit jej do malého fotovoltaického článku. Nespornou výhodou je nízká cena koncentrátoru oproti FV článkům. Navíc, díky menší ploše FV článků lze používat daleko účinnější typy, které jsou zatím velmi drahé. Koncentrátorů je celá řada: s rovným zrcadlem, s parabolickým zrcadlem, koncentrátoři čočkové, koncentrátoři fluorescenční [1].

3.3 Legislativa

Výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů má jasně stanovený řád, rozvedený v příslušných zákonných předpisech, podle kterých se musí každý výrobce elektrické energie na území České republiky řídit. Je v nich jasně definováno, jaké náležitosti musí výrobce elektrické energie z obnovitelných zdrojů splňovat.

3.3.1 Zákon č. 458/2000 Sb., Energetický zákon

Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů je znám také jako energetický zákon. Tento zákon upravuje v návaznosti na použitelné předpisy Evropské unie v § 1 podmínky k podnikání a výkonu státní správy v energetických odvětvích, jako jsou plynárenství, elektroenergetika a teplárenství. Dále upravuje i práva a povinnosti fyzických a právnických osob s tím spojených. Podle § 4 se licence na výrobu elektrické energie uděluje nejvýše na 25 let. Podmínky pro udělení licence na výrobu elektřiny jsou uvedeny v § 5. V případě, že o licenci žádá fyzická osoba, musí splňovat následující: věk 18 let, způsobilost k právním úkonům, bezúhonnost, odbornou způsobilost. V § 17 se zřizuje Energetický regulační úřad. Je to výkonný regulační orgán. Je zde definováno jaké pravomoci, ale i povinnosti má. Jako další je v § 20 zřízen Operátor trhu. Ten je jako státní akciová společnost povinen organizovat krátkodobý trh s plynem a elektřinou. Stará se o správné zpeněžování dodávek a vyplácení tzv. zeleného bonusu. Dále pak jsou v § 23 definována práva a povinnosti výrobce elektrické energie. Umožňuje každému výrobcu elektrické energie připojit se a dodávat elektřinu do rozvodné sítě, za předpokladu, že bude plnit pravidla pro provozování distribuční sítě.

3.3.2 Zákon č. 180/2005 Sb.

Zákon o podpoře výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů v souladu s legislativou Evropské unie. Nazývá se také zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů. Účelem tohoto zákona je ochrana klimatu a životního prostředí podpořením využití obnovitelných zdrojů. Dalším jeho účelem bylo dosáhnout v České republice do roku 2010 8 % využívání energie z obnovitelných zdrojů a následného zvyšování tohoto podílu.

Novelizace tohoto zákona v roce 2010 upravuje podporu pro energii vyrobenou ze Slunce (§ 3 odst. 5). Podpora má být poskytována pouze FVE, jejichž výrobní zařízení a maximální instalovaný výkon činí 30 kW a jsou navíc instalována na střechách staveb zapsaných v Katastru nemovitostí. Tento odstavec zabraňuje zabírání velkých ploch zemědělsky využitelné plochy pro výstavbu FVE.

3.3.3 Zákon č. 310/2013 Sb.

Tento zákon mění doposud užívaný zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění zákona č. 407/2012 Sb. Informace o hrazení nákladů se nachází v § 28, který říká, že náklady na podporu elektřiny jsou hrazeny prostřednictvím operátora trhu z finančních prostředků tvořených tržbami z plateb na úhradu nákladů spojených s podporou elektřiny a dotací ze státního rozpočtu.

3.4 Vliv fotovoltaiky na životní prostředí

Přeměna slunečního záření na elektrickou energii je z hlediska životního prostředí jedním z nejčistších zdrojů elektrické energie. Hlavní předností je, že z přeměny nevznikají žádné sekundární produkty, jako je popel, plyn či jiný odpad. Ročně se na této technologii ušetří až 850 kg CO₂. Nejrozšířenějšími jsou panely vyráběné z křemíku. Ten je zastoupen hojně v zemské kůře. Díky tomu je dostupný, relativně levný, nejedovatý a je výborným polovodičem. V zemské kůře se vyskytuje ve formě křemene (oxid křemičitý SiO₂). Při výrobě surového křemíku v obloukové peci však vzniká velké množství oxidu uhličitého, který zatěžuje životní prostředí [5].

V letech 2014 - 2018 vzniká majitelům FVE povinnost uhradit recyklační poplatek dle vyhlášky č. 178/2013. Výše poplatku se vypočítává podle hmotnosti a složení panelů. Placení recyklačního poplatku je povinné a je kontrolováno Českou inspekcí životního prostředí. Výrobce hradí likvidaci, pokud je FVE v provozu od ledna 2014.

Životnost FV panelů se odhaduje na 20 – 30 let, v závislosti na jejich produkčních parametrech. Panely mohou být funkční řádově v desítkách let, problémem je jejich snižující se účinnost. Výrobci panelů udávají, že se účinnost snižuje o 10 % za 10 let. Proto bude docházet kolem roku 2030 k velkému vyřazování z provozu. Možnosti dalšího nakládání s panely jsou buď odkup panelů a jejich nová instalace i za snížené účinnosti, nebo recyklace. Nyní se panely vyřazují hlavně z důvodu fyzického poškození. Závadnost FV panelů z výroby je naprosto mizivá [3].

3.5 Správná instalace modulů

Umístění fotovoltaických systémů by mělo být dobře promyšleným úkonem. V případě instalace na budovu se musí brát v úvahu správné postavení k světovým stranám i fyzický stav objektu. Do plánování by se měly vždy zohledňovat místní podmínky, nejen estetické, ale hlavně povětrnostní a srážkové. Je nutné počítat kromě statického zatížení (vlastní hmotnost konstrukce FV panelů) i se zatížením dynamickým, jako jsou poryvy větru. Dalším neméně důležitým faktorem je zatížení sněhem v zimním období, ať už na samotných FV panelech, či na rovné střeše objektu.

Při montáži systému na střechy je nutné volit vždy kvalitní komponenty a dobré technické řešení. Instalace je základ celého úspěchu, a proto by měla být konstrukce kvalitní a měla by ji provádět specializovaná firma. Při kotvení konstrukce přes střešní krytinu se musí dodržet správný postup, aby se předešlo případnému zatékání pod střechu.

Samotné fotovoltaické panely musí být vyrobeny z poměrně kvalitních a odolných materiálů. Zejména svrchní ochranná vrstva by měla splňovat určité předpoklady ochrany FV článku. Krycí sklo by mělo odolávat teplotním výkyvům, hlubokým mrazům, či vysokému tlaku. Ohraničeno by mělo být kvalitním rámem, který drží všechny vrstvy článku pohromadě a zabraňuje mechanickému poškození při přepravě a instalaci. Rám modulu musí také zabránit přístupu vody mezi vrstvy článku.

Kvalitní fotovoltaický modul by měl být certifikován. Někteří výrobci testují své moduly i nad rámec norem. To dodává určitou jistotu při nákupu kvalitních certifikovaných modulů [3].

3.6 Bezpečnost provozu

Jakékoliv elektrické zařízení je potenciálním rizikem vzniku požáru. U FVE je toto riziko poměrně velké, kvůli počtu zařízení a venkovního rozvodu interní sítě. V případě nekvalitního zařízení, či špatné instalace může k požáru dojít téměř kdekoliv.

U fotovoltaických článků vzniká riziko už ve výrobě. Nepřesnost v kladení článků se může projevit na zahřívání v místě kontaktu a následném roztavení ochranné fólie. Kabelové rozvody je nutné vést v chráničkách a používat k jejich instalaci kvalitní, pro tyto venkovní účely určené, kabely. Rozvodné krabice je potřeba instalovat z nehořlavých materiálů a s důrazem na vnitřní ventilaci vzduchu. Dalším rizikovým místem jsou spoje elektroinstalace. Zde se musí používat kvalitní voděodolné konektory s pojistkou proti samovolnému vypojení. U invertorů je nutné dodržovat pokyny výrobce pro instalaci s ohledem na vzdálenost od ostatních prvků.

Stejně jako v každé jiné elektrárně je zde velké riziko pro zasahující orgány. V případě vzplanutí se musí zajistit okamžité odpojení panelů od sítě. Ideálním řešením je montáž protipožárních spínačů ke každé soustavě modulů. Díky těmto spínačům se v případě požáru přeruší dodávka energie z modulů, a tím se zajistí bezpečnost pro zasahující hasiče.

Vhodným řešením je instalace monitorovacího zařízení, které nepřetržitě zkoumá chování elektrárny. Díky tomuto systému může majitel dobře vidět, jak elektrárna pracuje a jaká jsou její slabá místa z hlediska výkonu. Může reagovat a pečlivě dbát o její chod. Efektivnost výroby ovlivňuje i čistota FV panelů. Hlavně v zimních měsících je důležité odklízet sněh. V případě, že se FVE nachází v prašném prostředí, je nutné zajistit dostatečnou údržbu a péči panelům. Tím se zachovává maximální možná účinnost přeměny sluneční energie na energii elektrickou [3].

3.7 Investice

Jako investice se v ekonomii označuje část příjmu, která je vložena do dlouhodobých statků. Jsou to jednorázově vynaložené peněžní zdroje, které během delšího časového horizontu budou přinášet peněžní příjmy. Investice by měly být vynaloženy k naplňování cílů podniku. Při jejich hodnocení jsou nejdůležitějšími ukazateli výnos, čas a riziko.

3.7.1 Dělení investic

Dle účetního hlediska:

- finanční - vklad do jiné společnosti, nákup dlouhodobých cenných papírů,
- hmotné - nákup budov, zařízení a strojů,
- nehmotné - nákup softwaru, patentů a licencí.

Dle vztahu k rozvoji podniku:

- rozvojové - nové výrobky,
- obnovovací - náhrada opotřebovaného zařízení,
- regulační - přizpůsobování se novým normám.

Dle charakteru peněžních toků:

- konvenční - peněžní toky rostou po počátečním období,
- nekonvenční - peněžní toky v průběhu plynutí investice kolísají.

Ideální variantou investice je ta, která přináší maximální výnos s minimálním rizikem a vysokou likviditou. Taková investice je v praxi prakticky nemožná, a tak musí investor preferovat některý z faktorů. Hodnocení investice je porovnání vynaloženého kapitálu s vzniklými výnosy z investice.

Hodnocení ekonomické efektivity investice zahrnuje odhad budoucích kapitálových výdajů, odhad budoucích peněžních toků z investice, určení průměrných nákladů a určení současné hodnoty očekávaných investic [9].

Jako kapitálové výdaje se označují všechny peněžní výdaje, které souvisí s pořízením dlouhodobého majetku. Výdaje mohou dále růst s potřebou pracovního kapitálu, či větších zásob materiálu. Mohou se i snižovat v rámci prodeje vyřazovaného majetku. S tím souvisí i daňové efekty, vyplývající z daňových zákonů. Kapitálové výdaje se vypočítají jako:

Pořizovací cena příslušného majetku - příjmy z prodeje vyřazeného majetku ± daňové efekty.

Budoucí peněžní toky vznikají ze zisku po zdanění a z odpisů. Zohledňují i možnost prodat prostředek na konci životnosti. Budoucí peněžní toky se určí jako:

Přírůstek zisku po zdanění + odpisy ± změna pracovního kapitálu + příjem z prodeje majetku na konci jeho životnosti ± daňový efekt z prodeje majetku.

Určení průměrných nákladů na kapitál zohledňuje, že se pro financování užívají různé finanční zdroje. Je-li investice financována vlastním kapitálem, pak jsou náklady určeny požadovaným výnosem z kapitálu (dividendy). Pokud je investice financována úvěrem (cizí zdroje), pak jsou náklady úroky z tohoto úvěru. Průměrné kapitálové náklady jsou dány váženým aritmetickým průměrem podle vzorce:

$$N = i * (1 - D) * \frac{C}{K} + v * \frac{V}{K} \quad (1)$$

- N průměrné náklady kapitálu,
- i úrok placený za použití cizího kapitálu,
- D sazba daní z příjmů,
- C podíl cizího kapitálu,
- V podíl vlastního kapitálu,
- K celkový kapitál,
- v výnos vlastního kapitálu.

3.7.2 Určení jednorázových nákladů na investici

Určení velikosti nákladů na pořízení pozemku a fotovoltaického zařízení bývá poměrně přesné. Jako další položky započítávané do nákladů se uvádí náklady na instalaci, doprava, školení zaměstnanců, náklady na výzkum a vývoj. Tyto dílčí náklady už tak přesně stanovitelné nejsou. Je třeba u nich počítat s určitým možným navýšením celkových nákladů.

Čistý zisk a odpisy, které vznikají z investice, tvoří výnosy. Odhad budoucích výnosů vychází z tržeb a nákladů, což se projeví v konečném rozpočtu cash-flow.

Ekonomiku podniku ovlivňuje faktor času, tzn., že hodnota nynější peněžní jednotky je vyšší, než hodnota očekávané budoucí peněžní jednotky. Hodnota peněžních jednotek se v čase mění, např. vlivem inflace, či pohybem trhu. Proto se musí budoucí příjmy a výdaje přepočítat, k určitému časovému bodu. Hodnota budoucí se tedy musí převést na současnou hodnotu.

Metody hodnocení efektivnosti investice, které zohledňují faktor času, se nazývají dynamické. Nejvíce používaná a nejpřesnější je metoda čisté současné hodnoty. Vyjadřuje rozdíl mezi nynější hodnotou očekávaných peněžních příjmů a kapitálovými výdaji [9].

$$\check{C}SH = \sum_{n=1}^N \frac{Pn}{(1+i)^n} - K \quad (2)$$

ČSH	čistá současná hodnota,
n	příslušný rok životnosti,
Pn	peněžní příjmy příslušného roku,
i	kalkulovaná úroková míra,
K	kapitálové výdaje v Kč.

3.7.3 Vykupování elektrické energie

Každý vlastník fotovoltaické elektrárny si může vybrat mezi dvěma variantami vykupování vyrobené elektrické energie. Každá z možností je výhodná pro daný typ FVE.

Tzv. zelený bonus je varianta, která používá vyrobenou energii primárně pro vlastní spotřebu. To, co uživatel nespotřebuje, je dodáváno do rozvodné sítě. Výrobce této energie dostane tzv. zelený bonus (dotaci), nezávisle na tom, kolik energie spotřeboval pro vlastní potřebu a kolik dodal do rozvodné sítě. Elektrická energie dodávaná do rozvodné sítě je pak dále fakturovaná, jako nedotovaná tržní cena elektrické energie.

Druhou možností pro výrobce elektriny je přímý prodej. Veškerá elektrická energie vyrobená FVE je dodávána do rozvodné sítě. Výrobce nemůže použít energii pro vlastní

spotřebu. Tato varianta je výhodná pro větší FVE, které vyrábí elektřinu hlavně z hlediska zisku. Energie dodávaná do rozvodné sítě je zaplácena tzv. výkupní cenou.

Výši zeleného bonusu i výkupní cenu určuje Energetický regulační úřad. Cena vykupované elektřiny se odvíjí od velikosti elektrárny a doby uvedení do provozu. Každý výrobce si může vybrat, zda bude elektřinu prodávat přímou cestou, či přes zelené bonusy. Učiní tak vždy na jeden celý kalendářní rok. Výkupní ceny a výše dotací zveřejňuje Energetický regulační úřad v Energetickém regulačním věstníku [7].

3.8 Faktory ovlivňující výkon fotovoltaické elektrárny

Faktory ovlivňující výkon elektrárny se dají rozdělit do dvou skupin, a to na faktory technologické a na faktory prostředí. Faktory technologickými se rozumí použitý materiál pro výrobu fotovoltaických panelů, antireflexní vrstvy, sklon, poloha a natáčení FV panelů a použití koncentrátorů. Pro prostředí ovlivňuje produkci elektrické energie svými klimatickými podmínkami, stavem atmosféry a intenzitou slunečního záření [4].

3.8.1 Materiál

Díky skvělým vlastnostem polovodičů se využívají pro fotovoltaické účely. Po dodání energie prostřednictvím slunečního záření se v polovodičích začnou vytvářet volné elektrony a naopak volné místa pro vazbu nových elektronů, tzv. díry. Každý z používaných polovodičových materiálů má různé rozsahy pohlcování spektra slunečního záření. Tyto rozsahy jsou dány mocností tzv. zakázaného pásma. Jestliže je energie dopadajícího fotonu větší než je šíře zakázaného pásma, pak se zbytek nevyužití energie fotonu proměňuje v tepelnou energii. Tohoto jevu se využívá u fotovoltaických panelů kombinovaných s kolektory pro ohřev vody. Šíře zakázaného pásma u monokrystalického křemíku je asi 1,1 eV, u amorfního křemíku je to pak asi 1,75 eV. Ostatní materiály se pohybují také v rozpětí těchto hodnot. Rozdílné hodnoty jednotlivých materiálů se využívají v tzv. tandemových článcích [1].

3.8.2 Antireflexní vrstvy

Vzhledem k vysokým pořizovacím nákladům je každé zvýšení účinnosti vítané. Materiály používané pro výrobu FV článků mají poměrně velký index lomu, díky němuž dochází k odrazu části slunečního záření dopadajícího na panely. Tomuto odrazovému jevu zabraňují alespoň částečně antireflexní vrstvy. Tato vrstva usnadňuje vstup slunečního záření do struktury článků a zabraňuje výstup části nezachycených fotonů, které se odráží od zadní vrstvy článku [1].

3.8.3 Poloha, sklon a natáčení FV panelů

Ideální nasměrování fotovoltaických panelů při pevné instalaci by mělo být na jižní stranu. Je to základní parametr, při rozhodování o umístění panelů. Odchyly orientace na

jihozápad, či jihovýchod se projevují v maximální výši ztráty 5 %. Dále pak může ovlivňovat poloha produkci FV článků v případě, že je určitou část dne zastiňován překážkou. Může se jednat o budovu, či stromy. S klesající mírou dopadajícího přímého slunečního záření klesá i výkonnost článků. Řešení se nabízí ve výběru amorfního, či polykrystalického křemíku v panelech. Ty dokáží využívat i rozptýlené světlo, proto se tyto panely umísťují do míst, kde není možné je nasměřovat na jih.

Česká republika leží zhruba na 50° severní šířky. Od toho se odvíjí nastavování panelů. Používá se buďto statické, nebo dynamické nastavení. U statického nastavení se zohledňuje provozní doba elektrárny, podle které se panely nastavují. Na našem území se zpravidla nastavují panely na 49°, jelikož v zimním období se slunce pohybuje níže nad obzorem. Sklon panelů v letních měsících se nastavuje kolem 32°, aby bylo docíleno maximálního osvitu.

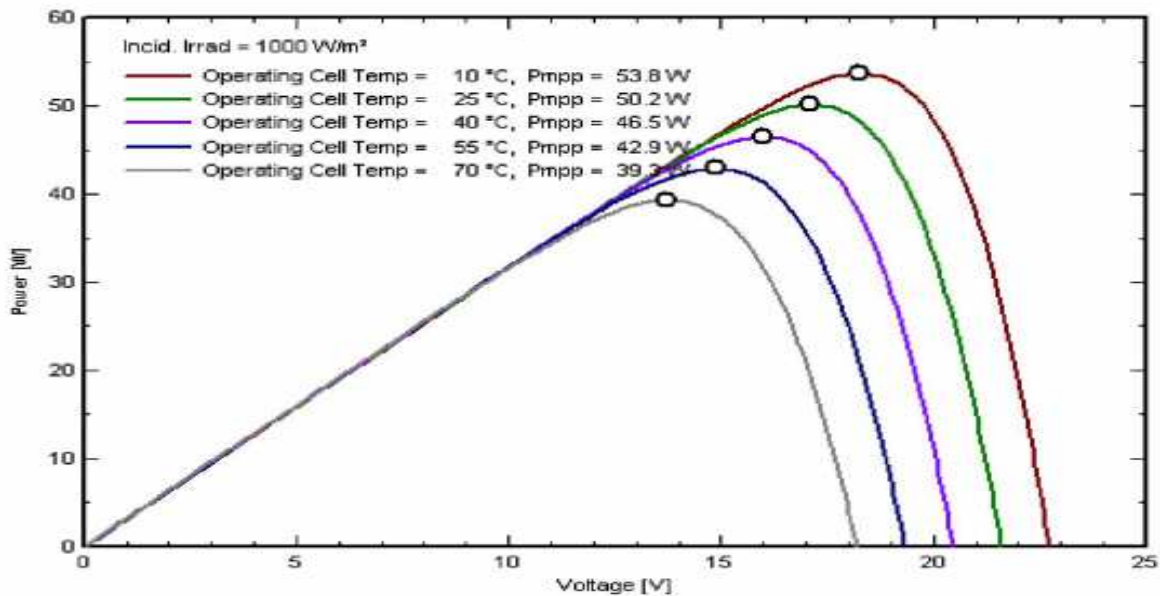
Využívání dynamických polohovacích systémů umožňuje získat maximální možný výkon elektrárny. Různým natočením panelů se využívá potenciál článků po celý den. Za slunného počasí lze docílit až o 70 % větší výkonnost, než u statických nastavení. Celkový rozdíl mezi statickými a dynamickými systémy je až 40 % [3].

3.8.4 Přírodní podmínky

Na fotovoltaické panely působí i celá řada přírodních faktorů. Většinou tyto faktory jako je teplota, vliv atmosféry, počasí nelze přímo ovlivnit. Rozhodující je proto umístění FVE do vyhovující lokality.

- **Teplota a sluneční záření**

Teplota negativně ovlivňuje všechny polovodiče. Z tohoto důvodu jsou FV panely velmi citlivé na zvyšující se teplotu. Ta se pak projeví ve snížení účinnosti panelů a tím i menšímu procentu vyrobené elektrické energie. S rostoucí teplotou klesá maximální dosažitelné napětí, resp. maximální dosažitelný výkon, jak je znázorněno na obr. č. 6.



Obrázek 6: Graf závislosti výkonu na napětí s ovlivněním okamžitou teplotou panelů [18]

Fotovoltaické panely maximalizují svoji účinnost hlavně, když na ně dopadá sluneční záření kolmo. Vlivem zakřivení zemského povrchu nedopadá záření pod stejnými úhly. Kolmému dopadu fotonů lze docílit hlavně v oblasti rovníku.

Spektrum slunečního záření je složeno z různých délek. Největší překážkou pro záření je atmosféra. Ozónová vrstva pohlcuje ultrafialové záření, oxid uhličitý a vodní páry pohlcují infračervené záření. Intenzita záření závisí na moci atmosféry a úhlu prostupu paprsků.

Sluneční záření, které není průchodem atmosférou negativně ovlivněno, se označuje jako přímé záření. Má velký potenciál intenzity hlavně v přímém směru. Záření, které je při průchodu atmosférou odraženo od vodních, či prachových částic se nazývá difuzní, neboli rozptýlené. V případě vysoké oblačnosti dopadá na povrch země zpravidla jenom difuzní část záření, která má stejnou intenzitu do všech směrů [5].

- **Vliv atmosféry**

Atmosféra je plynová vrstva obklopující naši planetu. Obsahuje 21 % kyslíku a 78 % dusíku a 1 % dalších prvků. Atmosféra ochraňuje Zemi před škodlivými zářeními z vesmíru a

udržuje poměrně stálou teplotu. Podle vzdálenosti od povrchu Země se atmosféra dělí na několik vrstev.

Troposféra - je nejspodnější vrstvou nad zemským povrchem. Sahá do výšky 18 km a utváří se v ní počasí. Teplota zde klesá se zvyšující se nadmořskou výškou.

Stratosféra - nachází se od 18 km do 50 km a je v ní obsažena ozónová vrstva, která filtruje UV záření. Teplota zde roste spolu s nadmořskou výškou.

Mezosféra - se rozprostírá od 50 km do 80 km. Teplota zde klesá se zvyšující se nadmořskou výškou.

Termosféra - sahá od 80 km do 640 km. Teplota zde roste spolu s nadmořskou výškou.

Exosféra - tato vrstva se vzájemně propojuje s termosférou a volně přechází v meziplanetární prostor.

Asi 29 % slunečního záření je odraženo vodní parou, oceány a ledovou plochou zpět do vesmíru. Ozón, vodní páry a prach zachycují asi 23 % dopadajícího slunečního záření na povrch atmosféry. Zbýlých asi 48 % záření se dostává na povrch země.

Znečištění atmosféry se udává prostřednictvím koeficientu znečištění, který porovnává sluneční konstantu, intenzitu slunečního záření a určitou nadmořskou výšku. Tento koeficient je největší v průmyslových a městských oblastech (4 – 6), nižší pro venkovské oblasti (3) a nejnižší ve vyšších nadmořských oblastech (nad 2 000 m n. m. koeficient 2). Z toho se dá usoudit, že největší znečištění je v zastavěné, průmyslové oblasti a nejmenší ve výše položených pohořích. Mění se taky v průběhu dne. Vyšších hodnot dosahuje ráno a večer [10].

- **Oblačnost**

Oblačnost je vyjádřena stupněm zakrytí oblohy mraky. Přímo také ovlivňuje produkci elektrické energie FVE prostřednictvím slunečního záření. Globální oblačnost se udává v procentech a pro Zemi je 54 % [10].

Tab. 1: Stupně oblačnosti

Jasno	1/8
Skoro jasno	2/8
Malá oblačnost	3/8
Polojasno	4/8
Oblačno	5/8
Velká oblačnost	6/8
Skoro zataženo	7/8
Zataženo	8/8

3.9 Čištění fotovoltaických elektráren

Výrobci fotovoltaických panelů je udávají za bezúdržbové. Majitelé FVE ovšem zjišťují, že tak úplně bezúdržbové panely nejsou. Aby si zachovaly svoji životnost a výkonnost, musejí se panely umývat a ošetřovat. Snahou je maximalizovat využití dopadajícího záření na povrch panelů, a tím maximalizovat zisk. Problémem jsou v tomto případě znečišťující vlivy okolí.

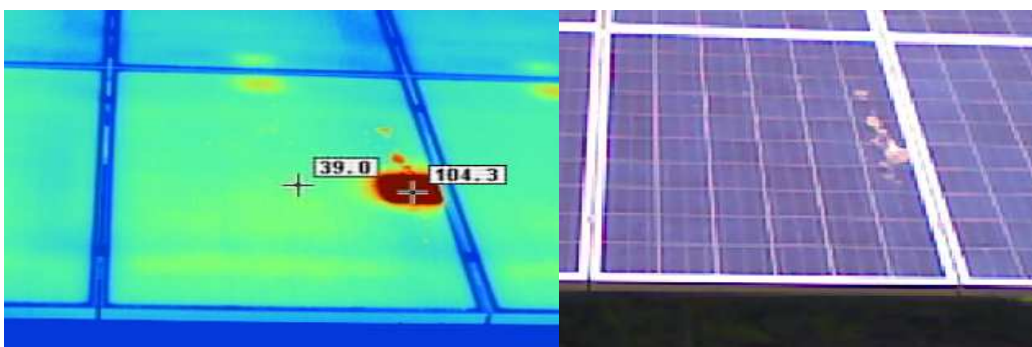
3.9.1 Znečištění fotovoltaických panelů

Znečištění fotovoltaických panelů způsobují faktory vnějšího prostředí. Znečištění může být krátkodobého charakteru, které se smyje v průběhu dešťových přeháněk, nebo dlouhodobější, které se usazuje v průběhu životnosti elektrárny. Pokud není prováděno odborné mytí, toto dlouhodobé znečištění roste [11].

Způsob a míra znečištění závisí na lokalitě instalace FVE. Největší mírou znečištění prachovými částicemi trpí FVE v písečných pouštních oblastech. U nás v České republice se sice pouště nevyskytují, avšak prachové znečištění ve velké míře ano. To hlavně u elektráren, které leží v blízkosti polních cest, či zemědělsky využívaných polností. Vlivem mechanizovaného hospodaření na půdě v blízkosti elektrárny se vzniklý prach usazuje na FV panelech, jak je dobře patrné na obr. č. 13 v příloze. Problémem je hlavně skutečnost, že v jarních a podzimních měsících, se půda upravuje před setím několikanásobnými zásahy mechanizace. To zapříčiňuje v dané lokalitě neustálé zvedání a víření prachových částic, které se opakovaně usazují na hladkých plochách FV zařízení. Podobný problém nastává, když se FVE nachází u nějakého dopravního tahu. Může se jednat o železniční, či silniční koridor. Zde záleží na frekvenci a druhu dopravy. U silnice s větším procentem nákladní dopravy se bude prašit více, než u komunikace, která je využívána více osobními

vozy. Problém u komunikací nastává hlavně v podzimních měsících, kdy dochází k víření vodní mlhy, která na sebe poutá prachové částice a následně pak pokrývá celé okolí. U silnic a polních cest se může minimalizovat prašnost za předpokladu využití kropení a čištění vozovky v blízkosti FVE. Dalšími nevhodnými lokalitami pro výstavbu FVE jsou například pískovny, doly a zemědělské provozy, kde míra polétavého prachu dosahuje extrémních hodnot. Prachové znečištění vytváří film po celém povrchu panelů, a proto se nazývá plošné. Dochází při něm k přibližně rovnoměrné degradaci všech článků. Do typu plošného znečištění se dále řadí i znečištění pylovými částicemi. Jako velmi agresivní se jeví pyl z břízy bělokoré a lípy srdčité. Ten zapříčiní, že v případě dopadu na plochu FV panelu, na sebe neváže další nečistoty. Díky jeho poměrně lepkavé konzistenci je následně problematičtější mytí panelů. Dalšími typy plošného znečištění jsou spady z chemického průmyslu, které mohou dokonce narušit povrchovou strukturu panelu, spady z výfukových plynů a spady z těžebního a zpracovatelského průmyslu.

Druhým typem je lokální znečištění. S ním se pojí nebezpečí výskytu tzv. hot-spot míst. Jsou to místa, kde lokální znečištění může poškodit FV článek. Např. ptačí exkrementy, či spadlé listí, jež jsou dlouhodobě nalepené na povrchu panelu. V těchto místech pak dochází k zastínění buňky FV článku a ta místo výroby, energii spotřebovává. Dochází zde k výraznému zahřívání. Při nárůstu teploty o 1 °C se výkon článku snižuje cca o 0,5 %. Teploty článků, které přesáhnou 100 °C, zkracují jejich životnost, způsobují rychlou degradaci článků a jejich nenávratné poškození. Dalším typem hot-spotu je tvorba mechu v okrajových částech panelu. U rámu panelu se usazují nečistoty jako pylové a prachové částice, které tam následně vytvoří tzv. prachové blátíčko a umožní vznik mechu. Ten pokud zasahuje do aktivní části článku, tak může způsobovat tento negativní jev přehřívání, který můžeme vidět na obr. č. 7 [12].



Obrázek 7: Lokální znečištění (hot-spot)

4. MATERIÁL A METODIKA

4.1 Způsoby čištění FVE

Pro zachování výkonnosti a životnosti se musí provádět pravidelná údržba fotovoltaických panelů. Vždy záleží hlavně na majiteli FVE, který rozhoduje o jejím osudu. Některé FV panely mohou první rok ztrácet až kolem 10 % svého výkonu. Záleží samozřejmě na typu článků a na umístění celého komplexu elektrárny. Největší rozdíly ve výkonu se vyskytují u elektráren, které se nacházejí v průmyslových oblastech, zejména v oblastech s důlní těžbou. Např. uhelný prach může způsobit pokles výkonu až o desítky procent.

V lokalitách s nižší intenzitou znečištění mnohdy postačují i silnější dešťové přeháňky. Ty jsou schopny smýt z hladkého povrchu panelů nečistoty v podobě neusazených prachových částic. Tento způsob nemá sice žádné finanční náklady, ovšem nesplňuje ve většině případů požadavky na správné umytí povrchu. Po dešti pak na povrchu článků zůstávají mapy, protože dešťová voda obsahuje spoustu příměsí a minerálů. Hlavním problémem je, že na povrchu panelů se nachází částice pylu, které na sebe váží prachové částice. Toto hrubší znečištění bohužel déšť nesmyje [12].

Z tohoto důvodu se provádí specializované mytí FVE. Rozlišují se dva základní typy. Nejúčinnější je mytí strojové. Při tomto čištění je kladen důraz na vysokou technickou připravenost elektrárny. Tzn., že všechny moduly musí být řádně připevněny k nosné konstrukci, v opačném případě hrozí poškození modulů. Využívají se k tomu speciálně upravené traktory, či nákladní automobily. Např. společnost Power future a.s. využívá upravený traktor Fendt. Ten má k dispozici v zadní části nádrž na vodu o objemu 4 000 l. Vepředu je hydraulické mycí rameno, které je osazeno speciálním rotačním kartáčem, tryskami pro nanášení směsi vody a čistícího přípravku a sušící lištou. Celé ústrojí je k vidění na obr. č. 10 v příloze. Rotační kartáč je vyroben ze speciálního materiálu, který je vidět na obr. č. 11 v příloze, aby se zabránilo poškrábání povrchu panelů. Trysky nanášejí rovnoměrně Bio čistící prostředek (viz. kapitola níže) a další trysky pak oplachují panel čistou demineralizovanou vodou. Sušící lišta zabezpečuje vysušení podkladu do sucha, bez zanechání map po stékání vody. Kartáč je rovněž vybaven šesti čidly, která neustále snímají a udržují optimální vzdálenost a úhel kartáče vůči povrchu jednotlivých panelů. Traktor je

vybaven pneumatikami, které zabezpečují šetrný pohyb po travnatých plochách a světelnou rampou, díky níž může být úkon prováděn i do pozdějších večerních hodin. Společnost disponuje profesionálně vyškoleným týmem, který má své zázemí v podobě servisní buňky, cisterny s čistou vodou a cisterny na pohonné hmoty, jež je vidět na obr. č. 9 v příloze. V ideálních podmínkách dokáže tým vyčistit za 24 hodin 2MW FVE [14].

Ne vždy podmínky prostředí dovolí použít mechanizovanou techniku na čistící úkony. V tomto případě existuje ruční mytí. K tomu se používá technologie vysokorychlostního rotačního kartáče, jehož pohon je zajišťován tlakem vody 100 – 160 barů, který je připevněn na teleskopické násadě, jak je vidět na obr. č. 12 v příloze. Při 700 otáčkách za minutu potřebuje kolem 10 litrů vody za minutu. Taktéž se používá demineralizovaná voda. Ta vzniká přefiltrováním obyčejné vody, při kterém je voda zbavena minerálních látek. Vhodnou variantou je čištění pomocí biologicky odbouratelného čistícího prostředku (Solar Bioclean). Ten napomáhá zvyšovat efektivitu ručního čištění. Výhodou této metody je možnost čištění i střešních FVE a elektráren, kde nejsou dostatečné vzdálenosti mezi jednotlivými řadami panelů, nebo v cestě stojí kabelové žlaby. Oproti mechanizované metodě je ruční čištění pomalejší, doba mytí je asi 200 m² za hodinu práce [13].

4.1.1 Čistící a ochranné prostředky

Pro čištění a ošetřování solárních panelů FVE se používají zpravidla certifikované čistící prostředky. Prostředek Solar BioClean, jež byl použit při sledovaném čištění je biologicky odbouratelný a na vzduchu rozložitelný podle EU směrnice No. 648/2004. Tento přípravek odstraňuje a odmašťuje biologické nečistoty, minerální, rostlinné a živočišné látky. Nahrazuje tedy nebezpečná, toxická ředidla a odmašťovače, které nejsou šetrné k povrchu FV panelů. Účinkuje i při nízkých teplotách (není na bázi vody), nedráždí a nezpůsobuje oxidaci povrchu. Tento čistič je vhodný před aplikací nanonátěru na bázích TiO₂, nebo SiO₂.

Pro povrchové ošetření FV modulů se používá přípravek SolarEnergy. Tento přípravek na bázi vody a nanočástic TiO₂ vytváří tenkou povrchovou úpravu FV modulů. Ochraňuje povrch před vnějšími vlivy (prachové částice, mastnota, námraza a ptačí trus). Nanočástice oxidu titaničitého mají vysokou fotokatalickou aktivitu, což se dá označit za samo-čistící schopnost. Principem fotokatalýzy je proces rozkladu látek za přítomnosti světelného záření

(UV záření), částic kyslíku, vzdušné vlhkosti a fotokatalyzátoru. Částice TiO_2 do sebe absorbují energii ze slunečního záření a následně ji uvolňují k odbourávání oxidu dusíku a organicko-chemických látek, např. oxidů síry, oxidu uhelnatého, aromatických uhlovodíků, dioxinů, pesticidů, hub a částic prachu [14].

4.2 Popis FVE v Jihomoravském kraji

Sledovaná FVE se nachází v okrese Brno-venkov v Jihomoravském kraji. Elektrárna leží v nadmořské výšce 192 m, přibližně na 50° severní šířky [15]. Okolní oblast je rovinná, díky tomu i zemědělsky dosti využívaná. Kolem elektrárny ze severní strany vede silnice II. třídy, na západní straně se tyčí větrolam, kolem kterého vede příjezdová cesta k FVE. Na zatravněném soukromém pozemku o rozloze 9,8 ha byla realizována společností Nobility solar projects a.s. Instalovaný výkon 3 910 kW ji řadí na 87. místo v seznamu FVE podle výkonu na území České republiky.

Použité fotovoltaické panely jsou na bázi polykrystalického křemíku od společnosti Solarfun. Přesný typ je Solarfun SF-220-30-P. Panely jsou vyráběny v souladu s normami ISO 9001 o systému řízení kvality a ISO 14001 o environmentálním řízení výroby. Rozměry jsou 1652 x 1000 x 50 mm, váží 22 kg. FV články jsou ohraničeny dvojitě lakovanými rámy ze slitiny hliníku. Účinnost modulu za standardních podmínek (ozáření $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, teplota článku 25°C a množství vzduchu AM 1,5) je výrobcem udávaných 14,5 %. Výrobce dává záruku na výkon: 90 % na 10 let a 80% na 25 let.

V elektrárně jsou použity měniče Sunny Boy 5000TL společnosti SAM Solar Technology. Jedná se o třífázový střídač, s maximálním vstupním výkonem (DC) 5 250 W. Jmenovitý výstupní výkon je 4 600 W. Evropská účinnost jeho provozu je 96,5 %. Maximální vstupní proud na každý string je 15 A a maximální výstupní proud je 22 A. Měnič dokáže pracovat s různým jmenovitým AC napětím (180 V - 280 V) a různou síťovou frekvencí (50 Hz, 60 Hz).

Datovou komunikaci zajišťuje systém MaxWeb. Ten poskytuje nezávislý monitoring celého fotovoltaického systému. Zaznamenává naměřené hodnoty, datové výnosy a veškeré události a přenáší je do MaxWeb portálu, který je přístupný z jakéhokoliv internetového

připojení. Má funkci alarmu. V případě poruchy může systém odesílat sms a email pověřené osobě.

4.3 Konkrétní metoda čištění FVE

Elektrárna leží v rovinaté oblasti, což je první předpoklad pro možnost strojového mytí panelů. Další požadavek, a to dostatečná vzdálenost mezi jednotlivými řadami panelů, aby zde mohla projet technika, je v případě sledované FVE také splněn. Prostor není přehrazen ani kabelovými žlaby, protože kabeláž je vedená v zemi. Podmínky prostředí jsou tedy ideální pro využití strojového čištění.

Prováděla ho společnost Power future a.s. Nejdříve bylo nutné zjistit míru znečištění na panelech. Vzhledem k faktu, že se FVE nachází v zemědělsky hojně využívané oblasti, je zde předpoklad výskytu větší míry prachového znečištění. Povrch solárních panelů byl poměrně mírně znečištěn, s občasným výskytem lokálních znečištění, hlavně ptačích exkrementů. V některých místech se vytvořily tzv. hot-spoty, které by v případě dlouhodobého ponechání na povrchu panelů mohly zapříčinit jeho trvalé poškození.

Po domluvě s vlastníkem se nechala část FVE, konkrétně 2 sekce elektrárny (1 MWp) v nevyčištěném stavu, pro výsledné porovnání stavu vyrobené elektřiny. Ve zbylé části FVE bylo provedeno strojové mytí v termínu 25.-26. 4. 2013. K mytí byl použit upravený traktor Fendt, který provedl běžné mytí FV modulů s užitím čistícího přípravku Solar Bioclean. Tento přípravek se automaticky ředí v poměru 1:70 s demineralizovanou vodou. Demineralizovaná voda se použila z důvodu maximalizace čistoty povrchu. V případě použití vody kohoutkové, by na skleněném povrchu panelů zůstávaly mapy z rozpuštěných solí.

Samotné čištění probíhalo systematicky po jednotlivých řadách solárních modulů. První den se vyčistila přibližně polovina plochy elektrárny a zbytek se vyčistil den druhý. O bezproblémový chod čištění se stará celá řada elektronických senzorů, které jsou umístěny na hydraulickém ramenu. Ty udržují stálou výšku nad povrchem panelů, čímž je zajištěno, jak dokonalé umytí bez vynechaných míst, tak bezpečnost provozu celého stroje. Protože povrch, na kterém je elektrárna vystavena nemůže být nikdy perfektně rovný, slouží tyto

senzory k ochraně v lepším případě před poškrábáním skleněné plochy modulů, v horším případě před zničením celé nosné konstrukce.

5. VÝSLEDKY A DISKUZE

5.1 Zhodnocení výběru typu čištění

Na hodnocené fotovoltaické elektrárně bylo použito strojové čištění. Důvodů je k tomu hned několik. Hlavním důvodem je fakt, že elektrárna leží v rovinaté oblasti, tzn., že technika není limitována sklonem terénu. Jednotlivé moduly jsou od sebe dostatečně daleko, tudíž je umožněn průjezd větší mechanizované techniky, což používaný traktor Fendt rozhodně je. Dalším důvodem, proč se použilo strojové čištění je časová náročnost.

Jelikož je elektrárna poměrně velká, ruční čištění by zabralo i trojnásobek času, který byl věnován vyčištění strojnímu. Ruční mytí s sebou nese i nevýhodu v podobě pohybu většího množství lidí na území elektrárny. Tudíž v průběhu mytí mají fotovoltaické panely sníženou účinnost vlivem zastiňování a nedokonalých podmínek osvětlení panelu z důvodu odrazu a lomu slunečního záření způsobeného procesem mytí. Oproti technice ručního mytí se traktor plynule pohybuje a přesunuje z panelu na panel, čímž minimalizuje dobu strávenou nad panely a jejich následným zastiňováním.

Dalším výrazným plusem strojového čištění je vysoušení plochy panelů. Vysokotlaký fukar se nachází na hydraulickém ramenu hned za kartáčem. Okamžitě tedy vysušuje omývanou plochu. To zabraňuje vytváření map po stékání vody a také nedovolí usazení nečistot na mokrou plochu panelů po umytí.

5.2 Výsledky čištění

Měření výkonových parametrů FVE bylo prováděno od 20. 4. 2013 do 30. 4. 2013. Data se shromažďovala celkem ze čtyř měničů napětí v průběhu jedenácti dnů. Měniče č. 1 a 2 zpracovávaly hodnoty z neumytých FV panelů a měniče č. 3 a 4 zpracovávaly hodnoty z vyčištěných FV panelů.

Samotné čištění probíhalo 25. a 26. 4. 2013. V Tab. 2 jsou hodnoty vyrobené elektrické energie v jednotlivých sledovaných dnech na každém měniči napětí zvlášť. Hodnoty nebylo

třeba přepočítávat na kWh, jelikož měnič poskytuje na displeji souhrnné údaje v těchto jednotkách.

Tab. 2: Výsledné hodnoty vyrobené elektrické energie na jednotlivých měničích

Datum	20.4.	21.4.	22.4.	23.4.	24.4.	25.4.	26.4.	27.4.	28.4.	29.4.	30.4.
Měnič 1 [kWh]	2 151	3 411	3 641	3 039	3 647	3 262	3 774	2 699	1 573	2 398	3 486
Měnič 2 [kWh]	2 200	3 467	3 691	3 081	3 700	3 334	3 831	2 729	1 591	2 428	3 537
Měnič 3 [kWh]	2 181	3 445	3 681	3 077	3 683	3 334	3 799	2 701	1 568	2 387	3 493
Měnič 4 [kWh]	2 200	3 437	3 638	3 077	3 651	3 291	3 763	2 659	1 553	2 371	3 444

Pro lepší orientaci v datech se sečetly hodnoty z měničů č. 1 a 2, které jsou označeny v Tab. 3, jako Myté. To stejné bylo provedeno s hodnotami z měničů č. 3 a 4, jež jsou v Tab. 3 pojmenovány jako Nemyté. Na konci tabulky je suma hodnot Myté a Nemyté.

Tab. 3: Suma výsledných hodnot vyrobené el. energie z umytých vs. neumytých panelů.

Datum	Myté [kWh]	Nemyté [kWh]
20.4.	4 351	4 382
21.4.	6 878	6 883
22.4.	7 332	7 319
23.4.	6 120	6 154
24.4.	7 347	7 334
25.4.	6 597	6 625
26.4.	7 605	7 563
27.4.	5 428	5 360
28.4.	3 164	3 102
29.4.	4 827	4 757
30.4.	7 023	6 937
Σ	66 673	66 415

Po sečtení jednotlivých hodnot je suma vyrobené elektrické energie na mytých panelech 66 673 kWh a na nemytých činí 66 415 kWh. Po porovnání obou hodnot činí rozdíl 258 kWh. V případě orientační ceny 13 Kč za 1 kWh činí částka 3 354 Kč [16]. Výše zmíněná cena 1 kWh je spíše orientační, jelikož vlastník čištěné fotovoltaické elektrárny si nepřál zveřejňovat přesné výkupní ceny elektrické energie vyprodukované solární elektrárnou. Orientační cena je odvozená od cenových rozhodnutí Energetického regulačního úřadu.

Částka 3 354 Kč ovšem není konečná, jelikož se vztahuje pouze k 1 MW umyté plochy elektrárny. Pokud se částka 3 354 Kč vynásobí 3,9 MW (což je přibližný výkon celé FVE) výsledná částka činí 13 080 Kč. V případě, že průměrná doba aktivity panelů byla v 11 srovnávaných dnech 8 hodin denně, potom je to v tomto časovém úseku 88 hodin. Těmito 88 hodinami se podělí částka 13 080 Kč. Výsledek činí ušetřených 149 Kč na hodinovou aktivitu panelů. Český hydrometeorologický ústav uvádí průměrnou hodnotu osvitů v této oblasti 1620 hodin ročně. Částka 149 Kč se vynásobí 1620 hodinami. Výsledek tedy činí 241 380 Kč. Tato částka je pouze orientační, z důvodu použití orientační ceny, průměrných hodnot a také faktu, že v průběhu času se opět snižuje účinnost FV panelů v závislosti na jejich znečištění.

Nákladovost mytí FVE je odvislá od konkrétních podmínek elektrárny. V náročnějším terénu je práce mechanizace nákladnější a zdlohavější a to se zákonitě musí projevit ve výsledné ceně za poskytnutý úkon. Základní cena strojového mytí fotovoltaických panelů je 139 000 Kč bez DPH za plochu panelů odpovídající instalovanému výkonu 1 MW.

Finanční náklady na vyčištění sledované FVE tedy činí zhruba 542 000 Kč. Orientační přínos čištění byl pro majitele 241 000 Kč, avšak náklady 542 000 Kč. V tomto konkrétním případě se provedené čištění z finančního hlediska nevyplatí.

Tento fakt může být způsoben jarním termínem pro čištění a to hned ze dvou důvodů. V zimním období napadlý sníh přispívá výrazně k přirozené čistotě panelů. Jelikož se FV moduly zahřívají, sníh na nich taje a postupně sjíždí z nakloněné plochy modulů a s sebou odstraňuje i nečistoty ulpívající na jejich povrchu. Druhým důvodem může být četnost srážek v regionu. Pokud je znečištění panelů pouze prachového charakteru, vydatnější dešťové srážky ho smyjí z nakloněného povrchu panelů.

V grafickém znázornění (viz obr. č. 8 v příloze) není rozdíl v umytých a neumytých panelů příliš patrný. V tab. 4, je vyjádřen poměr denních energetických zisků mezi měniči, na kterých se panely myly a na kterých se nemyly, vztažený k průměrnému dennímu poměru denní produkce el. elektřiny. Denní poměr mezi měniči není vždy stejný, proto se vypočítala suma denní produkce před mytím a po mytí, ke které se následně vztahoval poměr denní produkce k průměrnému dennímu poměru. Tím vyšla denní odchylka v procentech, jak je vidět v tabulce 4. Přesný poměr denní produkce měničů je 1,68 %.

Tab. 4: Poměr denní produkce el. energie před, během a po mytí.

Před mytím					Den mytí panelů		Po mytí			
20.4.13	21.4.13	22.4.13	23.4.13	24.4.13	25.4.13	26.4.13	27.4.13	28.4.13	29.4.13	30.4.13
-0,50%	0,12%	0,36%	-0,36%	0,36%	-0,25%	0,74%	1,46%	2,21%	1,65%	1,42%

5.3 Diskuze

Výsledky této bakalářské práce potvrdily výkonnostní přínos po vyčištění FV panelů. Pro konkrétní sledovanou fotovoltaickou elektrárnu byla strojová metoda čištění modulů výhodná z hlediska času, který společnost Power Future a.s. strávila na území elektrárny. Kompletní mytí zabralo dva dny, což oproti ruční metodě umývání je nesrovnatelně kratší časový úsek.

Prokázalo se, že tato FVE nebyla příliš ovlivněna stavem FV modulů, protože výkonnostní rozdíl činil 1,68 %. Díky tomuto údaji můžeme říct, že povrch modulů elektrárny byl znečištěn pouze v nízké míře. Z tohoto důvodu nebylo použito následné ošetření nano-přípravky. Dalším důvodem, proč bylo použito pouze umytí, a ne ošetření povrchu, jsou vysoké náklady této metody. Na to, že se elektrárna nachází v poměrně hojně zemědělsky využívané oblasti, byla míra hrubého znečištění minimální. Pokud se v budoucích letech zemědělská činnost nezintenzivní a sousedící větrolam se nestane hnízdištěm většího počtu ptactva, mohlo by zde být prováděno pouze lokální čištění, které by bylo méně nákladné.

Na strojové čištění se musí vynakládat nemalé finanční prostředky. Jinak tomu nebylo ani u popisované FVE. Úkon, který byl prováděn specializovanou společností, stál zhruba 542 000 Kč, což je více jak dvojnásobek ročního přínosu vyčištěných ploch elektrárny. Finanční přínos byl počítán pouze v orientační úrovni a vyšel zhruba na 241 000 Kč. Z finančního hlediska se tedy strojové čištění v této FVE nevyplatilo. Procentuální výkonnostní rozdíl se nacházel spíše na spodní hranici uváděných výsledků čištění, které se u jiných čištěných elektráren pohybují až na hranici 5 %. To mohlo být ovšem způsobeno hlavně přírodními podmínkami počasí.

Strojové mytí této elektrárny by se mohlo vyplatit ve velmi suchém roce, kdy nízká míra dešťových srážek nedokáže dokonale smýt nečistoty prachového charakteru. Zdroj [17] popisuje metodu chlazení FV panelů stékající vodou. Ta je rozváděna perforovanými hadicemi upevněnými na horních okrajích modulů. Nejenže stékající voda FV panely

ochlazuje, a tím zajišťuje jejich větší výkonnost, ale taky povrch panelů umývá od drobných nečistot. Udávané zlepšení výkonnosti panelů se v takto upravených elektrárnách pohybuje od 2 - 4 %. Vyvstává otázka, zda stékající voda nemění lom slunečního záření dopadajícího na povrch článků. To by mohlo znamenat určitý pokles výkonových parametrů.

6. ZÁVĚR

Fotovoltaika je velmi dynamicky se rozvíjející obor. Využívá všudypřítomného slunečního záření na přeměnu elektrické energie, bez které si dnešní život už ani nedokážeme představit.

Situace v České republice, kde od roku 2006 probíhají realizace fotovoltaických elektráren velmi svižným tempem, už bohužel není pro výrobce „zelené“ energie tak příznivá, jako dříve. Výkupní ceny se každoročně snižují závratným tempem. Proto je pro toto odvětví velmi důležité, zvyšovat efektivnost přeměny záření na elektrickou energii. Technologie fotovoltaických článků se stále posouvá kupředu, to má ovšem za následek zvyšování jejich cen. Z důvodů rentability se stále častěji využívá čištění a ošetřování ploch fotovoltaických panelů, které vede ke zlepšování jejich účinnosti.

Hlavním cílem této práce bylo zhodnotit vliv záměrného čištění fotovoltaické elektrárny na její produkční parametry. U zvolené FVE, která se nachází v okrese Brno-venkov, jsem porovnával konkrétní data výroby elektrické energie před a po strojovém čištění. Ukázalo se, že u této FVE nebylo čištění finančně rentabilní. Hlavním důvodem byla nízká míra znečištění panelů a vysoká cena strojového čištění. Mytí mělo za následek zlepšení účinnosti panelů o 1,6 %. V porovnání s jinými čištěnými elektrárnami je vliv čištění nižší.

Ošetření panelů nano-přípravky zajišťující samo-čisticí schopnost by nemělo v tomto případě smysl hlavně pro vysokou cenu této služby a nízkou míru opakovaného znečištění. Doporučil bych spíše lokální čištění a tím zabránění tvorbě hot-spotů, které mohou v krajních případech poškodit FV panel. I přes fakt, že se FVE nachází v zemědělsky využívané oblasti, znečištění má spíše charakter jemného prachu. Vydatnější dešťová přeháňka plní čisticí funkci výborně, protože prach se nedrží na pylových částicích, ale stéká společně s dešťovou vodou z panelů pryč.

Čištění fotovoltaických panelů má rozhodně smysl, je ovšem potřeba patřičně zvážit, zda je elektrárna natolik znečištěná, aby se nákladné čištění finančně vyplatilo. Pokud se elektrárna nachází na místě, kde podléhá silnému znečištění, vyplatí se FV panely vyčistit i dvakrát ročně, popřípadě využít vlastností nano-přípravků.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

7.1 Seznam použitých literárních zdrojů

- [1] **MURTINGER K., BERANOVSKÝ J., TOMEŠ M., 2008:** *Fotovoltaika elektřina ze slunce*, Vyd.2.,EkoWATT, Praha, 81 s., ISBN 978-80-7366-133-5.
- [2] **CENEK M. a kol., 2001:** *Obnovitelné zdroje energie*, FCC PUBLIC, Praha, 208 s., ISBN 80-901985-8-9.
- [3] **HASELHUHN R., 2011:** *Fotovoltaika Budovy jako zdroj proudu*, nakladatelství HEL, Ostrava- Plesná, 176 s., ISBN 978-80-86167-33-6.
- [4] **Tomáš Herold, 2013:** BAKALÁŘSKÁ PRÁCE Analýza faktorů ovlivňující účinnost přeměny sluneční energie v energii elektrickou, online [cit. 2015-01-14]. Dostupné na: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/7245/BP_Tomas_Herold.pdf?sequence=1>.
- [5] **VAISHAR A., ŠŤASTNÁ M., 2014:** *Jihomoravský venkov jako prostor pro výrobu energie z obnovitelných zdrojů*, Vyd. 1., Mendelova univerzita, Brno, 134 s., ISBN 978-80-7509-112-3.
- [6] **ČEZ, 2003:** *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České Republice*, ČEZ, Praha, 141 s.
- [7] **Chytrá energie, 2015:** *Zelená energie*, online [cit. 2015-01-15]. Dostupné na: <<http://www.chytraenergie.info/index.php/chytra-energie-novinky/zelena-energie/309-fotovoltaikaprovas>>.
- [8] **ĎURICA D., SUK M., CIPRYS V., 2011:** *Energetické zdroje včera, dnes a zítra*, Moravské zemské muzeum, Brno, 165 s., ISBN 978-80-7028-374-5.
- [9] **ŽIVĚLOVÁ I., 2013:** *Podniková ekonomika*, Mendelova univerzita, Brno, 112 s., ISBN 978-80-7375-781-6.
- [10] **Wikipedia, 2015:** Atmosféra, online. [cit. 2015-03-27]. Dostupné na: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Atmosf%C3%A9ra>>.
- [11] **Solární novinky, 2015:** *Četnost mytí panelů*, online [cit. 2015-04-05]. Dostupné na: <<http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2015040101/jak-casto-umyvav-solarni-panely>>.
- [12] **Solární novinky, 2015:** *Zvyšování výkonu solární elektrárny*, online [cit. 2015-04-07]. Dostupné na: <<http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2013032901/tipy-a-triky-jak-zvysit-vykon-vasi-solarni-elektrarny-az-o-14-rocne&rw=ADMTZ123&rt=myt%C3%AD>>.
- [13] **Nano sun s.r.o., 2013:** *Technologie ručního mytí FVE*, online [cit. 2015-04-07]. Dostupné na: <<http://www.nanocleansolar.com/technologie/>>.
- [14] **POWER FUTURE, 2015:** *Technologie čištění*, online [cit. 2015-04-07]. Dostupné na: <<http://www.powerfuture.eu/cz/4-Technologie-a-Sluzby>>.

[15] **Mapová data, 2015:** online [cit. 2015-04-10]. Dostupné na:<<https://www.google.cz/maps/place/Jihomoravsk%C3%BD+kraj/@49.1248962,16.5941218,9z/data=!3m1!4b1!4m2!3m1!1s0x4712bfb85ca00b8d:0x100af0f6614a8c0>>.

[16] **Energetický regulační úřad, 2014:** online [cit.2015-04-20]. Dostupné na:<<http://www.eru.cz/cs/elektrina/cenova-rozhodnuti/platna-cenova-rozhodnuti/archive>>.

[17] **Chairma Lakshmi, K.R. , 2015:** Performance analysis of efficiency enrichment technique for SPVPGS: An experimental assessment In *Power Electronics and Renewable Energy Systems - Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 326, pp. 545-551, ISBN 978-81-322-2119-7.

[18] **Tomáš Ficek, 2012:** *Vliv proměnné intenzity na účinnost fotovoltaického panelu*, online [cit. 2015-04-21]. Dostupné na:<https://is.muni.cz/th/252914/pdf_b/Bakalarska_prace.pdf>

7.2 Seznam použitých zákonů a vyhlášek

Zákon č. 458/2000 Sb.

Zákon č. 180/2005 Sb.

Zákon č. 310/2013 Sb.

8. SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Stupně oblačnosti	34
Tab. 2: Výsledné hodnoty vyrobené elektrické energie na jednotlivých měničích	42
Tab. 3: Suma výsledných hodnot vyrobené el. energie z umytých vs. neumytých panelů.	42
Tab. 4: Poměr denní produkce el. energie před, během a po mytí.	44

9. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Mapa globálního záření [18].....	11
Obrázek 2: Princip přeměny sluneční energie na FV článku [18].....	14
Obrázek 3: Schéma zapojení autonomního systému [18]	16
Obrázek 4: Schéma zapojení síťového systému [18]	17
Obrázek 5: Schéma zapojení hybridního systému [18].....	18
Obrázek 6: Graf závislosti výkonu na napětí s ovlivněním okamžitou teplotou panelů [18].....	32
Obrázek 7: Lokální znečištění (hot-spot)	35
Obrázek 8: Grafické znázornění množství vyrobené el. energie na mytých a nemytých FV panelech	52
Obrázek 9: Technologické zázemí firmy Power Future a.s. [14].....	52
Obrázek 10: Pohled na multifunkční hlavici [14]	53
Obrázek 11: Detailní pohled na mycí kartáč [14].....	53
Obrázek 12: Ukázka ručního mytí [12]	54
Obrázek 13: Srovnání mytých a nemytých panelů [14]	54

10. SEZNAM ZKRATEK

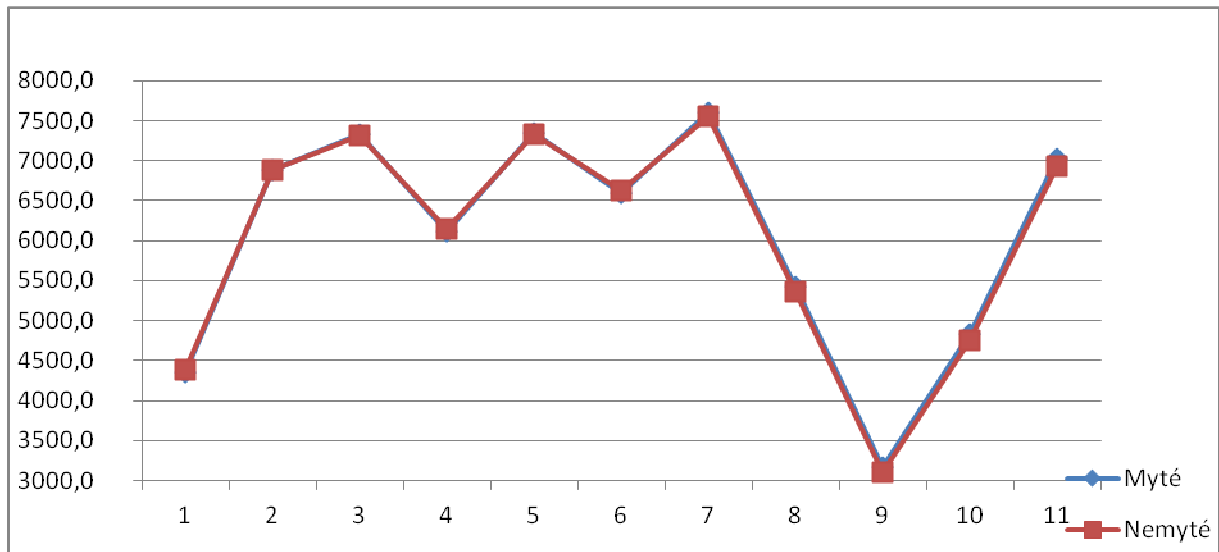
FVE fotovoltaická elektrárna

FV fotovoltaický

AC střídavý proud

DC stejnosměrný proud

11. PŘÍLOHY



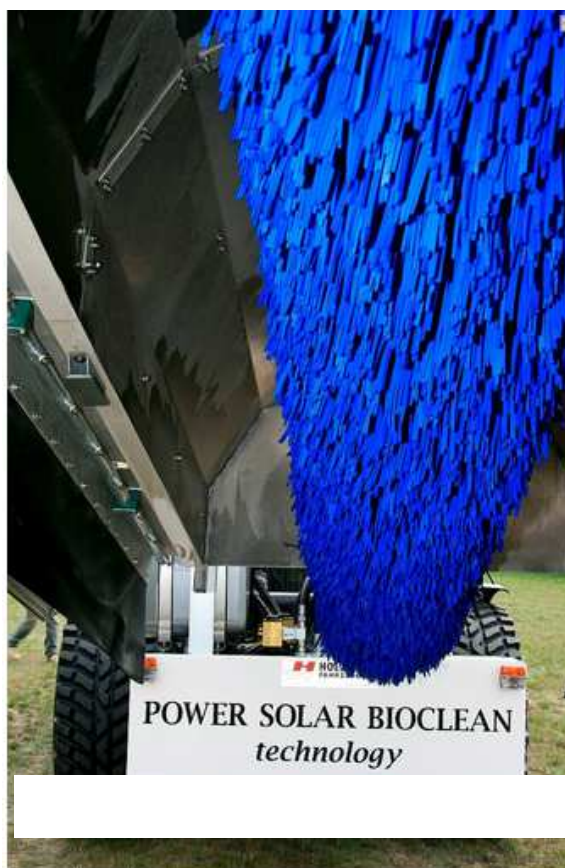
Obrázek 8: Grafické znázornění množství vyrobené el. energie na mytých a nemytých FV panelech



Obrázek 9: Technologické zázemí firmy Power Future a.s. [14]



Obrázek 10: Pohled na multifunkční hlavici [14]



Obrázek 11: Detailní pohled na mycí kartáč [14]



Obrázek 12: Ukázka ručního mytí [12]



Obrázek 13: Srovnání mytých a nemytých panelů [14]